



ETUDE DE LA PHYSIOLOGIE POST-RECOLTE DE LA MANGUE

suiveurs CIRAD : Mme M.N. DUCAMP et M. J.Y. REY
suiveur UTC : M. M. BRAYER

projet de fin d'études réalisé de février 1999 à août 1999

Erwan BRIOT

CIRAD-FLHOR



ETUDE DE LA PHYSIOLOGIE POST-RECOLTE DE LA MANGUE

suiveurs CIRAD : Mme M.N. DUCAMP et M. J.Y. REY
suiveur UTC : M. M. BRAYER

projet de fin d'études réalisé de février 1999 à août 1999

REMERCIEMENTS

Mon stage a pu être réalisé grâce à l'appui de nombreuses personnes que je souhaite ici remercier :

- M. Thierry Goguey, Chef de Programme Arboriculture fruitière, qui m'a permis de réaliser ce stage.

- Mme Marie-Noëlle Ducamp, ingénieur de recherche au CIRAD-FLHOR, M. Jean-Yves Rey, chargé de mission CIRAD-FLHOR à Korogho et M. Adapo Achille, chercheur du CNRA, qui ont accepté de me suivre tout au long de ce stage et dont les conseils avertis m'ont beaucoup aidé.

- Le Directeur du CNRA à Korogho, M. N'Guessa Angelo, pour m'avoir accueilli au sein de la station qu'il dirige.

- Les observateurs en physiologie, Gilbert et Ousmane qui m'ont épaulé pour les études de terrain.

- Le personnel du laboratoire, Amadou, Yeo et Dor, pour leur sérieux et la bonne humeur prodiguée dans le laboratoire.

- L'ensemble du personnel ivoirien de la station du CNRA - Korhogo, pour avoir fait de ce stage un moment agréable.

- Le service Biométrie et Informatique du CIRAD, et plus particulièrement Mme C. Dubois, pour le traitement statistique des résultats.

ETUDE DE LA PHYSIOLOGIE POST-RECOLTE DE LA MANGUE

SOMMAIRE

<u>INTRODUCTION</u> : Problématique de l'étude	1
<u>RESUME</u>	2
<u>ABSTRACT</u>	3
<u>Partie I : PRESENTATION</u>	4
1.1. Cadre du stage	4
1.1.1. CIRAD-FLHOR	4
1.1.2. CNRA	5
1.1.3. Station de recherche de Lataha	5
1.2. Contexte technico-économique	8
1.2.1. Le marché des mangues	8
1.2.2. La Côte d'Ivoire	8
1.2.3. La filière mangue en Côte d'Ivoire	9
1.3. Présentation du stage	11
1.3.1. Objectifs généraux	11
1.3.2. Etudes antérieures	11
1.3.3. Programme de stage	11
<u>Partie II : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE</u>	13
2.1. Généralités sur le manguier	13
2.2. La floraison et la fructification du manguier	14
2.3. Développement de la mangue	16
2.4. Maturation de la mangue	18
2.5. Indices d'appréciation de l'aptitude à la maturation des mangues	19

Partie III : MATERIELS ET METHODES 21

3.1. Matériel disponible	21
3.1.1. Matériel végétal	21
3.1.2. Matériel de laboratoire	21
3.2. Etude de la physiologie de la floraison et de la fructification du manguier	22
3.2.1. Objectifs	22
3.2.2. Méthode	22
3.2.3. Etude secondaire portant sur les taux de fructification	23
3.3. Etude des critères d'appréciation de la maturité des mangues	23
3.3.1. Objectifs	23
3.3.2. Matériel	23
3.3.3. Méthode	24
3.4. Traitement statistique des données	26

Partie IV : RESULTATS ET DISCUSSIONS 27

4.1. Etude de la physiologie de la floraison du manguier	27
4.1.1. Estimation de l'incertitude sur l'âge physiologique du fruit	27
4.1.2. Etude de la distribution des fleurs sur l'inflorescence	28
4.2. Etude de la physiologie de la fructification du manguier	31
4.2.1. Etude des variations des taux de fructification selon les dates de marquages	31
4.2.2. Suivi de la croissance de jeunes fruits	34
4.3. Etude des critères d'appréciation de maturité des mangues KENT	36
4.3.1. Caractérisation des fruits après maturation	36
4.3.1.1. Appréciation de l'âge physiologique idéal pour l'exportation	36
4.3.1.2. Taux d'ESS et d'acidité en fonction de l'âge physiologique	38
4.3.1.3. Durée de maturation, perte de poids. Flétrissement des fruits	40
4.3.1.4. Bilan des mesures et analyses réalisées après maturation	40

4.3.2. Relations entre quelques paramètres physico-chimiques et le degré de maturité des mangues	42
4.3.2.1. <i>Coloration interne des mangues</i>	42
4.3.2.2. <i>Taux d'ESS et d'acidité. Mesures de pH</i>	43
4.3.2.3. <i>Evolution des fermetés interne et externe</i>	45
4.3.3. Bilan des mesures et analyses réalisées à la récolte	45
4.3.4. Mise en évidence d'une corrélation entre sommes de température et degré de maturité	46
4.4. Etude des critères d'appréciation de maturité des mangues KENT (variétés Keitt, Amélie et Galerie)	47
4.4.1. Caractérisation des fruits après maturation	47
4.4.1.1. <i>Appréciation de l'âge physiologique idéal pour l'exportation</i>	47
4.4.1.2. <i>Bilan des mesures et analyses réalisées après maturation</i>	48
4.4.2. Relations entre quelques paramètres physico-chimiques et le degré de maturité des mangues	49
4.4.2.1. <i>Coloration interne des mangues</i>	49
4.4.2.2. <i>Taux d'ESS et d'acidité. Mesures de pH</i>	49
4.4.2.3. <i>Evolution des fermetés interne et externe</i>	50
4.4.3. Bilan des mesures et analyses réalisées à la récolte	50
4.5. Perspectives	51
<u>CONCLUSION GENERALE</u>	53
<u>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</u>	54
<u>ANNEXES</u>	56

AUTEUR : BRIOT Erwan

Université de Technologie de Compiègne

TITRE : ETUDE DE LA PHYSIOLOGIE POST-RECOLTE DE LA MANGUE

Région : Korhogo - COTE D'IVOIRE

Institutions : CIRAD-FLHOR et CNRA

Suiveurs : M.N. DUCAMP, J.Y. REY (CIRAD-FLHOR) et M. BRAYER (UTC)

RESUME

L'exportation de mangues en frais représente une opportunité de développement pour la région nord de la Côte d'Ivoire.

Nous nous sommes intéressés ici tout particulièrement à l'amélioration de la qualité de la mangue exportée.

Pour cela, deux axes d'étude ont été définis :

- le premier a permis de mieux comprendre la physiologie de la floraison et celle de la fructification du manguier.
- le second de déterminer des critères d'appréciation de la maturité des fruits.

A terme, on envisage de développer une méthode de prévision des dates de récolte ainsi qu'un moyen objectif d'appréciation de leur maturité lors du tri précédant leur conditionnement.

MOTS-CLES : Manguier, Mangifera indica, Physiologie, Floraison, Fructification, Maturation, Exportation de mangues

AUTHOR : BRIOT Erwan

Université de Technologie de Compiègne

TITLE : STUDY OF POST-HARVEST PHYSIOLOGY OF MANGO

Region : Korhogo - COTE D'IVOIRE

Institutes : CIRAD-FLHOR et CNRA

Tutors : M.N. DUCAMP, J.Y. REY (CIRAD-FLHOR) et M. BRAYER (UTC)

ABSTRACT

Export of fresh mangoes represent a great opportunity to develop the north of the Ivory Coast.

We have been particularly interested in the improvement of the quality of exported mangoes

Two way of study have been defined :

- the first one has offered a better understanding of flowering and mango developpement.
- thanks to the second one, we have determined maturity indices for harvesting of mango.

We aim at developping a way to determine objectively the maturity of mangoes for picking and to improve their storage.

KEY-WORDS : Mango, Mangifera indica, Physiology, Flowering, Fruit growth and development, Ripening, Export of mangoes

INTRODUCTION : Problématique de l'étude

Introduit au début du 20^{ème} siècle en Côte d'Ivoire, le manguier voit sa culture s'y développer considérablement depuis une vingtaine d'années, dans le nord du pays, et principalement dans le département de Korhogo, à vocation essentiellement agricole. Cette expansion a permis d'augmenter les ressources alimentaires du pays. Par ailleurs, l'attrance des consommateurs pour les fruits tropicaux est récente, et la coloration attractive des nouvelles variétés hybrides créées en Floride a favorisé la pénétration de la mangue sur les marchés européens et nord-américain. C'est pourquoi l'exportation de mangues en frais représente une opportunité de développement pour la région de Korhogo.

Les efforts de recherche doivent principalement porter sur l'amélioration de la productivité du manguier, la lutte contre les problèmes phytosanitaires ainsi que la valorisation du fruit.

Nous nous intéresserons ici tout particulièrement à l'amélioration de la qualité de la mangue exportée.

Pour cela, deux axes d'étude ont été définis :

- le premier vise à **mieux comprendre la physiologie de la floraison et celle de la fructification du manguier**. Le but est alors de déterminer des nouvelles méthodes de marquage des fleurs du manguier afin de connaître précisément l'âge physiologique des mangues étudiées.
- le second à **améliorer les qualités organo-leptiques de la mangue** en déterminant des critères d'**appréciation de la maturité**. Ceci devrait permettre de déterminer des méthodes plus objectives que celles utilisées à l'heure actuelle pour décider, si une mangue est exportable ou non.

Quatre variétés de mangues ont été étudiées : Kent, Keitt, Amélie et Galerie. Ce rapport présente plus en détail les résultats acquis sur la variété Kent.

Partie I : PRESENTATION

1.1. CADRE DU STAGE

Ce stage s'est déroulé au sein d'un partenariat que le CIRAD-FLHOR et le CNRA ont développé sur la station de recherche agronomique de Lataha, à Korhogo en Côte d'Ivoire.

1.1.1. CIRAD-FLHOR

• Le CIRAD, Centre de Coopération Internationale pour la Recherche Agronomique et le Développement, est un organisme scientifique français spécialisé en agriculture des régions tropicales et subtropicales. C'est un établissement public à caractère industriel et commercial (EPIC) qui dépend à la fois de la coopération française et du secrétariat d'Etat à la recherche. Il réalise, dans une cinquantaine de pays, des opérations de recherche, de développement agricole et de formation. Le CIRAD emploie 1900 personnes, dont 900 cadres (environ 400 basés en régions chaudes). Son budget s'élève à près de 1 milliard de francs, dont plus de la moitié provient de fonds publics et le reste de prestations payantes auprès de sociétés publiques ou privées en France comme à l'étranger.

Le CIRAD possède des centres de recherche en France métropolitaine ainsi que dans les départements et territoires d'Outre-mer. Il travaille également en collaboration avec de nombreux centres internationaux dans plus de 45 pays, en appui technique à des projets publics ou privés, ou, comme dans le cas de ce stage, avec des structures nationales de recherche et développement.

Le CIRAD est divisé en grands départements qui sont consacrés à des filières de production (**CIRAD-CA** : cultures annuelles; **CIRAD-CP** : cultures pérennes; **CIRAD-Forêt** : bois; **EMVT** : élevage; **CIRAD-FLHOR** : filières fruitières et horticoles) et à des départements d'appui : **AMIS - TERA**

• Le CIRAD-FLHOR, département des productions fruitières et horticoles, a pour mission de contribuer, par ses activités de recherche et d'appui technico-économique, au développement des filières hortofruitières dans les pays tropicaux et méditerranéens. Les priorités stratégiques du CIRAD-FLHOR concernent :

- les ressources génétiques et les biotechnologies
- la protection des plantes et du milieu naturel
- les systèmes de production
- la valorisation agro-industrielle
- le marketing des produits.

Ce département est issu de l'ancien IRFA (Institut de Recherche sur les Fruits et Agrumes), qui a été inclus dans le CIRAD en 1984, à partir de la fusion d'instituts de recherche en sciences agronomiques, vétérinaires, forestières et agro-alimentaires.

Il est divisé en trois programmes de recherche :

- le programme bananiers et plantains
- le programme productions horticoles
- le programme arboriculture fruitière

1.1.2. CNRA

Le Centre national de recherche agronomique est le produit de la restructuration de la recherche agronomique ivoirienne. Ainsi, depuis novembre 1998, le CNRA correspond à la fusion de l'IDESA (Institut des savanes), de l'IDEFOR-DFO (Institut des forêts, département forestier) et de l'IDEFOR-DFA (département fruits et agrumes).

La restructuration et la mise en place du CNRA s'est poursuivie tout au long de mon stage.

1.1.3. Station expérimentale de Lataha

La station expérimentale de Lataha est située à une vingtaine de kilomètres de Korhogo, dans la zone de savane du nord de la Côte d'Ivoire. Elle recouvre environ 40 hectares d'arbres fruitiers, principalement de manguiers, parmi lesquels une collection variétale et des parcelles d'essai et d'exportation.

Le reste est composé à forte majorité d'agrumes (oranges, tangelos, pamplemousses, mandarines, citrons, limes...), de bananiers et de papayers. Enfin, quelques parcelles sont consacrées à l'étude d'espèces plus rares (anacarde, carambole, anonne ainsi que des agrumes à huiles essentielles comme le cédrat, la bigarade, la bergamote, le kumquat...).

Ces parcelles servent à la mise en place de diverses recherches en agronomie ou entomologie. La station a également développé une forte activité de vente au détail de ses productions, afin d'ajouter aux fonds qui leur sont impartis le produit d'une activité commerciale (vente de leurs productions fruitières, de semences ou de plants).

La station a été créée en 1981 par l'IRFA. qui l'a mise en place et a doté le laboratoire d'un matériel suffisant.

Le personnel d'encadrement de la station se compose de :

- un chercheur chef de station
- huit chercheurs (agronomes, entomologistes...)
- un chercheur agronome délégué par le CIRAD-FLHOR

Le personnel de bureau, les observateurs de la station et les ouvriers constituent le reste de la cinquantaine de personnes employées par le CNRA de Korhogo.

Outre cette station, le CNRA possède des bureaux à Korhogo et un hangar pour le stockage et le conditionnement des mangues. La campagne de mangues était une des principales activités et elle entraîne l'emploi de plus d'une centaine de travailleurs temporaires (récolteurs et ouvriers du centre de conditionnement) de mars à mai ou juin.

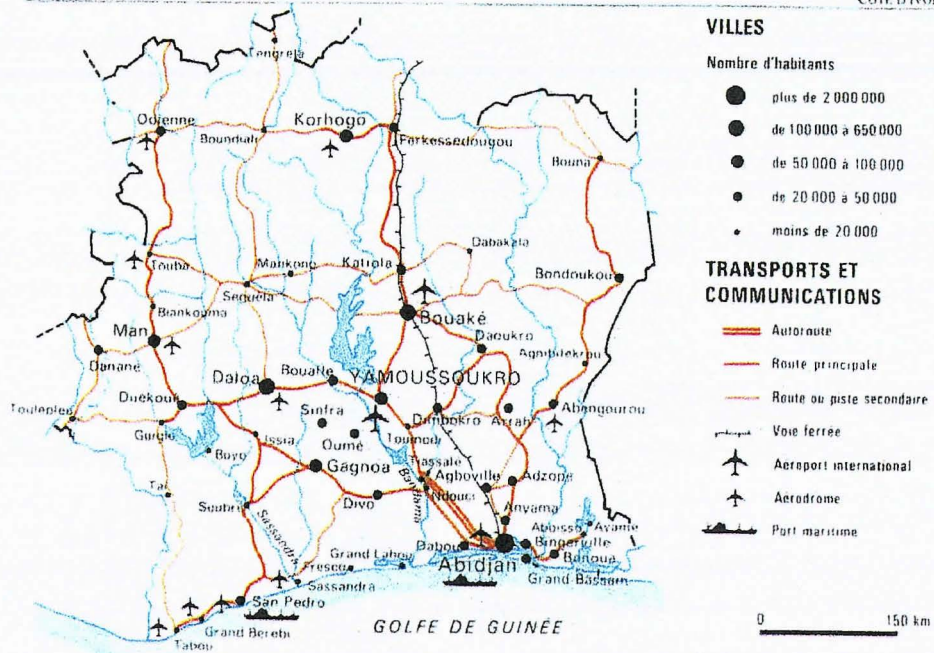
En 1981, l'IRFA a commencé à étudier les conditions d'exportation des mangues. Il a été le premier à tenter des expéditions par voie maritime en 1989, et a ainsi pu orienter les professionnels de la filière dans le choix des variétés et dans les conditions de récolte, de tri et de conditionnement. En 1993, dans un souci de qualité, le tri et le conditionnement ont été déplacés des vergers vers un local approprié, et des équipes spécialisées ont été mises en place.

Peu à peu, de nouveaux vergers ont été créés et la production des parcelles de Lataha ne représente aujourd'hui qu'une faible part des quantités totales exportées. C'est à dire que l'IDEFOR achète des mangues aux paysans locaux, conditionne et exporte sous la marque FRUIDEFOR au travers d'une coopérative appelée SOCOFRUIT.

Contrairement aux autres exportateurs, l'IDEFOR se refuse à faire appel à des pisteurs et entretient des rapports privilégiés avec les producteurs. Son ancienneté dans la filière lui confère un atout au travers de la formation du personnel, dont le savoir-faire est indispensable pour la récolte et le tri. Ainsi, en 1997, **le pourcentage de refus n'a été que de 0,55 % sur les 489 tonnes de mangues exportées** par l'IDEFOR, qui s'est placé au second rang national d'une échelle allant de 0 à 30 %.

Cette qualité est reconnue sur le marché, puisque le prix obtenu auprès des importateurs était nettement supérieur au prix habituel : **environ 700 FCFA/kg, soit 200 FCFA/kg de plus que la moyenne des ventes de l'ensemble de la profession**, avec 100 FCFA de mieux que le second.

En 1999, le CNRA n'a pas réalisé d'exportation de mangues du fait de la restructuration de l'organisme.

**AGRICULTURE****Cultures vivrières****Principales zones**

- Igname
- Manioc
- Banane plantain et taro
- Riz
- Mûls et sorgho en association avec le maïs

Cultures commerciales

- /// Coton
- Caca
- Kola
- Cacao
- |||| Hévéa
- T Tabac
- Bananes
- Ananas
- ||||| Palmier à huile
- ||| Cocotiers

PÊCHE

- ⚓ Port de pêche industrielle
- Centre de pêche (artisanale)

ÉLEVAGE

- Zone d'élevage de bovins
- /// Ovins, caprins
- |||| Porcins

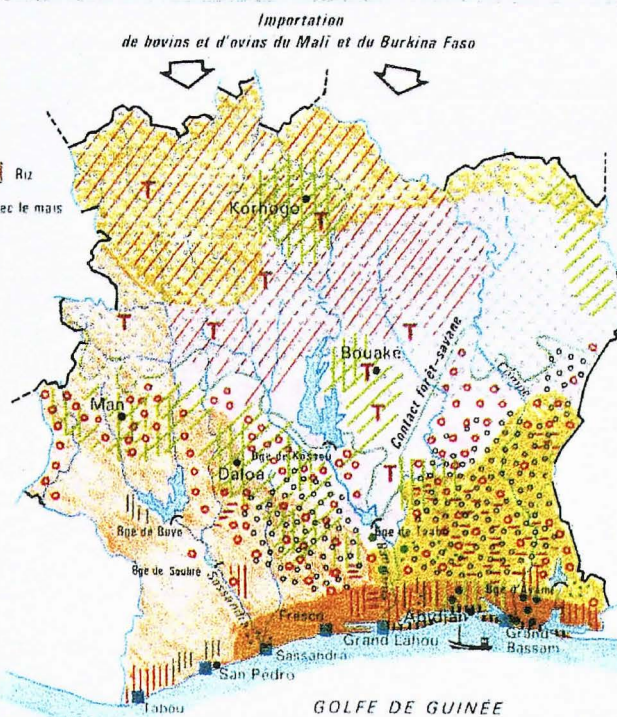


Figure 1 : cartes de Côte d'Ivoire

1.2. CONTEXTE TECHNICO-ECONOMIQUE

1.2.1. Le marché des mangues

(d'après Loeillet, 1998)

1.2.1.1. Production mondiale

La mangue représente la 6^{ème} **production fruitière mondiale**. La FAO l'estime à près de **22 millions de tonnes**, avec une augmentation de 50 % ces dix dernières années. Les principaux producteurs sont l'Inde (10 millions de tonnes) et le sud-est asiatique, suivent le Mexique (1,4 million), le Nigeria (0,5 million) et le Brésil (0,4 million).

1.2.1.2. Marché de l'exportation

Seule une faible part de la production de mangues est exportée. Ainsi, en 1995, la quantité de mangues exportées n'était que de 342 000 tonnes (soit une valeur sur le marché international de 400 millions USD).

C'est principalement vers l'Amérique du nord (40% pour les Etats-Unis), l'Asie et l'Europe que s'orientent ces transactions. On note l'émergence des marchés des pays du golfe persique et de Hong-Kong.

Parallèlement, l'augmentation des quantités a entraîné la baisse des cours. La consommation de la mangue s'est démocratisée et les consommateurs, mieux avertis, sont de plus en plus exigeants. De plus, les marges des exportateurs et importateurs s'étant réduites, ceux-ci ont été amenés à accorder un **intérêt croissant à la qualité** et aux préjudices occasionnés par les pertes post-récolte ou les ventes au rabais de lots défectueux.

1.2.2. La Côte d'Ivoire

Localisée en Afrique de l'ouest, la Côte d'Ivoire est bordée au nord par le Mali et le Burkina Faso, à l'est par le Ghana, au sud par le golfe de Guinée, et enfin à l'ouest par le Liberia et la Guinée.

Le climat y est tropical et les précipitations abondantes avec une température moyenne annuelle de 26°C. Cependant, au niveau topographique et climatique, la Côte d'Ivoire peut être séparée en deux zones distinctes : au-delà de la zone lagunaire, la forêt tropicale s'étend jusqu'à 100 à 200 km de la côte, avec des précipitations annuelles de l'ordre de 1 900 mm; le centre et le nord du pays sont occupés par la savane qui ne reçoit en moyenne que 1 140 mm d'eau.

Avec sa superficie de 318 000 km² et ses 14,8 millions d'habitants, la Côte d'Ivoire, bien qu'il lui reste des problèmes d'organisation, est le moteur du développement ouest-africain. Au contraire de beaucoup de ses voisins, elle a très tôt misé sur l'essor du secteur agricole tout d'abord, l'agro-alimentaire suivant avec du retard. Elle est aujourd'hui le second exportateur africain de produits agricoles, après l'Afrique du Sud. Ces performances

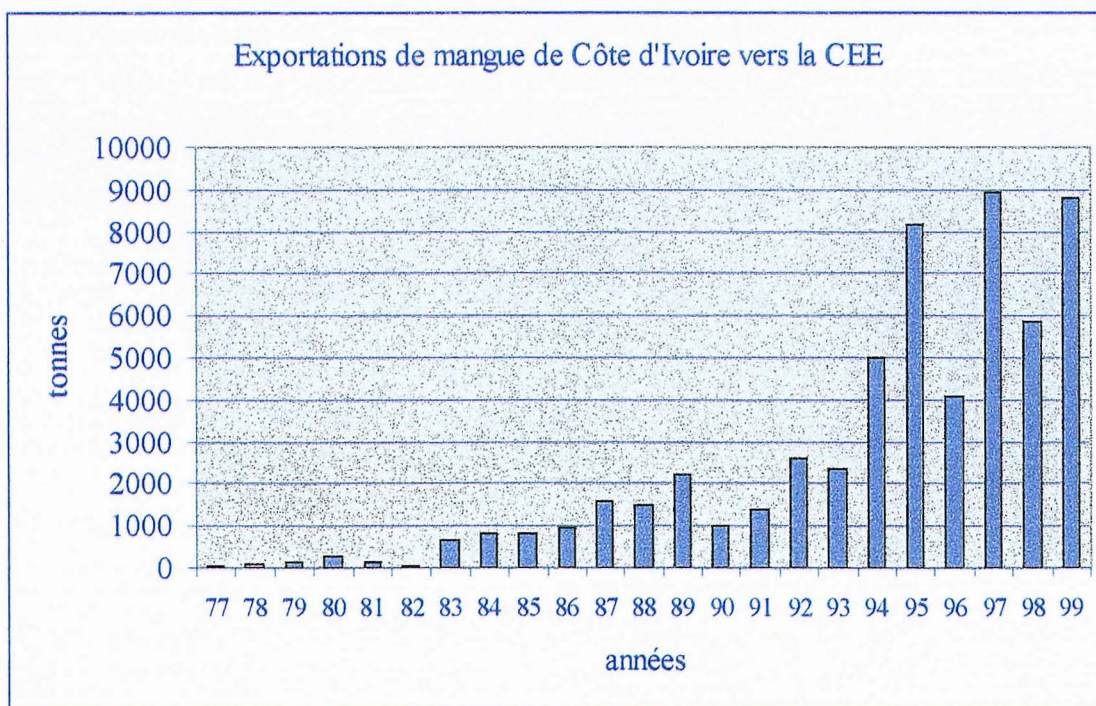
économiques sont cependant fragilisées par une rapide croissance démographique (3,5 %/an) et par l'arrivée de nombreux immigrants.

Bénéficiant de son ouverture maritime, les cultures vouées à l'exportation ont été favorisées ce qui lui a permis d'être un des rares pays à trouver un bénéfice à la dévaluation du franc CFA en 1994. La première des cultures exportées est le cacao (1^{er} producteur mondial) puis le café (4^{ème}), le bois d'oeuvre, les bananes, le caoutchouc...

1.2.3. La filière mangue en Côte d'Ivoire

1.2.3.1. Implantation

La Côte d'Ivoire est le second exportateur de mangues vers l'Europe, après le Brésil. Cette activité s'est considérablement accrue à partir du début des années 90 en bénéficiant de l'intensification du transport maritime, puis à partir de 1994, de la dévaluation du franc CFA. Les exportations qui étaient de moins de 1000 tonnes en 1990 sont passées à près de 9000 tonnes en 1997.



(source : Eurostat pour les années 76 à 96, Ocab pour 97, 98 à 99)

Seule la **moitié nord de la Côte d'Ivoire** jouit du climat propice à la production de mangues destinées à l'exportation. **Korhogo** (cf. figure 1) est véritablement le centre de cette activité, puisque 12 des 16 grosses stations d'exportation y sont localisées.

En effet, si l'on trouve des mangues dans tout le pays, les régions côtières, plus humides, favorisent le développement de parasites tels la cochenille et de cryptogammes comme l'anthracnose. On y observe plutôt une activité de cueillette, destinée à l'autoconsommation ou bien à la vente sur les marchés locaux.

Cependant, certains exportateurs s'approvisionnent également dans les pays voisins du nord : le Mali et le Burkina-Faso. L'exportation à partir d'Abidjan n'est donc pas le reflet fidèle de la production nationale. Même si cette dernière en constitue la grande majorité, il est relativement difficile de mesurer l'ampleur des échanges transfrontaliers qui s'y ajoutent.

1.2.3.2. Organisation

La campagne de mangues pour l'exportation s'étale, selon les années, sur trois à quatre mois : **mars, avril, mai** et parfois juin. Les différents acteurs de la filière sont :

- les producteurs : le secteur agricole est peu structuré et très éclaté, puisque les superficies moyennes des exploitations sont de 1 à 4 ha.

- les récolteurs, dits « pisteurs » : ce sont des opérateurs indépendants, dont le rôle consiste à aller acheter aux paysans les mangues sur l'arbre, à s'occuper de la récolte puis à vendre les fruits aux exportateurs en réalisant un bénéfice. Ils sont souvent liés moralement à un ou plusieurs exportateurs. Mais en réalité, beaucoup vendent au plus offrant et se livrent une rude concurrence chez les paysans en cas de manque d'approvisionnement. Ce système est souvent préjudiciable à la qualité, les pisteurs privilégiant la quantité à la qualité. En effet, ces derniers cherchent souvent à récolter le plus possible avant les autres, sans attendre toujours le bon stade de maturité des mangues.

- les exportateurs : contrairement au secteur agricole, ce domaine est bien structuré. Il existe une quinzaine d'exportateurs de mangues en Côte d'Ivoire. A la différence des filières bananes et ananas, où l'on trouve de gros producteurs-exportateurs, peu d'exportateurs de mangues possèdent leur propre production, et ils font tous appel aux productions des petits paysans. Les exportateurs possèdent une ou plusieurs stations dont le rôle consiste à **trier et conditionner les mangues**.

1.3. PRESENTATION DU STAGE

1.3.1. Objectifs généraux

Le principal objectif, à terme, est d'assurer le développement de la filière d'exportation de mangues au nord de la Côte d'Ivoire, en déterminant des critères simples de récolte et d'assurer ainsi une meilleure qualité.

En dehors des activités de recherche, le CNRA a un rôle d'assistance auprès des créateurs de stations de tri et de conditionnement des mangues. Ces activités sont créatrices d'emplois et améliorent les revenus des producteurs.

1.3.2. Etudes antérieures

De nombreuses études ont été réalisées sur le manguier partout dans le monde. Les données bibliographiques sont importantes mais elles comportent quelques lacunes, concernant par exemple les critères d'appréciation des dates de récolte. Par ailleurs, les résultats acquis dans un autre pays, voire une autre région, ne sont pas forcément valables à Korhogo.

A la fin des années 80 et au début des années 90, DIDIER, GOGUEY et REY, tous trois du CIRAD-FHLOR, ont mené des études sur le manguier, au nord de la Côte d'Ivoire, principalement sur les techniques culturales et l'architecture de l'arbre.

En 1998, GUEPRATTE, stagiaire CIRAD-FHLOR, en collaboration avec MOULIO, stagiaire CNRA, ont apporté quelques résultats concernant la physiologie post-récolte de la mangue et sa conservation sous atmosphère modifiée.

Les conclusions de ces travaux ont inspiré le programme du présent stage.

1.3.3. Sujet défini avant le stage et sujet réel

1.3.3.1. Programme initial du stage

- Connaissances physiologie floraison-fructification :

- marquages de floraison et suivi de l'évolution du fruit depuis la nouaison (étude réalisable sur différentes variétés)
- suivi de la climatologie
- étude des positions des fleurs sur l'arbre, des paramètres hauteur et exposition
- possibilité d'analyse de la composition des fruits en fonction de leur âge physiologique (50 jours à 120 jours - pH, ESS et acidité)
- si possible, organisation d'envois de fruits sur Montpellier en 48 h

- Aptitude des mangues à la maturation :

- étude de l'évolution des fruits après récolte en fonction de leur âge
- détermination d'un éventuel âge à partir duquel on observe un flétrissement du fruit
- analyses (pH, ESS et acidité) sur fruits d'âge différent pour relier l'aptitude à la maturation à des critères simples de récolte

- Conditionnement sous film plastique (protocole à définir sur place)

1.3.3.2.. Programme réel

De février à mars, les études prévues concernant la physiologie de la floraison et de la fructification ont pu être menées à bien. Cependant, il aurait été souhaitable que ce stage débute au mois de décembre, c'est à dire au début de la floraison.

Par la suite, le programme a été respecté, y compris les envois de fruits sur Montpellier, sous forme lyophilisée.

Partie II : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

2.1. GENERALITES SUR LE MANGUIER

• origine et dispersion

Cultivé depuis plus de 4000 ans, le manguiier (*Mangifera indica*) est semble-t-il originaire de la partie nord-est de la région indo-birmane. Peu à peu, la culture du manguiier s'est répandue en Asie, en Amérique du sud et en Afrique.

La Floride est devenue un centre contemporain de diversité pour le manguiier dans la mesure où de nombreux cultivars monoembryonnés y ont été sélectionnés et distribués à travers le monde.

En Afrique de l'Ouest, la première variété greffée fut introduite il y a un siècle au Mali. D'origine antillaise, ce cultivar « Amélie » s'est rapidement répandu dans toute la zone à climat soudanien des pays limitrophes. La majorité des variétés d'origine américaine, appelées également « mangues rouges », ont été introduites des îles Hawaï en Guinée en 1950. Elles ont été ensuite diffusées vers les stations de recherche d'Afrique Occidentale et Centrale.

• classification

Le manguiier appartient à la famille des Anacardiaceae. L'espèce qui nous intéresse, car elle regroupe la quasi totalité des fruits consommés et commercialisés, appartient au genre *Mangifera* : il s'agit de l'espèce indica.

Il existe des centaines de variétés et le manguiier a pu s'adapter à des zones écologiquement très différentes de sa région d'origine.

Cultivé dans toute la zone inter-tropicale, le manguiier intéresse tous les continents. Les régions à pluviométrie trop faible, à saison sèche peu marquée ou à saison froide trop forte, en délimitent la zone de culture industrielle.

• description des variétés de manguiers étudiées

cf. annexe 1

2.2. LA FLORAISON ET LA FRUCTIFICATION DU MANGUIER

• initiation et développement de l'inflorescence

En général, ce sont les premières pousses du printemps précédent qui donneront des panicules florales. Ces pousses ont eu le temps de mûrir et d'accumuler des réserves d'hydrates de carbone. Ce sont les bourgeons apicaux qui donnent la panicule florale; ils sont parfois accompagnés de bourgeons subapicaux (LAROUSILLHE de, 1979).

Dans le cas où le bourgeon apical a donné une panicule florale, celle-ci se dessèche, soit après la floraison si elle ne donne pas de fruits, soit après la récolte dans le cas contraire. Les bourgeons subapicaux ne sont plus inhibés et prennent le relais pour donner des pousses végétatives.

L'axe principal de la panicule florale se subdivise en ramifications secondaires, éventuellement tertiaires, sur lesquelles apparaissent les boutons floraux. La longueur de la panicule florale varie suivant la variété; elle peut atteindre 0,40 m et parfois plus. Entre le début de l'ouverture du bourgeon et le plein épanouissement de la panicule, il s'écoule de trois à quatre semaines. Une panicule florale peut, suivant les variétés, porter de 300 à plus de 7000 fleurs.

Il peut aussi se développer des panicules mixtes (rameau mixte).

La connaissance des facteurs internes qui contrôlent la floraison reste limitée, en dépit des découvertes de transmission d'un stimulus de floraison par greffage, généré par les feuilles. Les essais menés dans différents pays à l'aide de régulateurs de croissance ont donné quelques résultats positifs, mais sur certaines variétés seulement, dans des zones géographiques précises (LYANNAZ, 1993).

Ainsi, le Paclobutrazol (codé PP 333) commercialisé sous la marque CULTAR par la société ICI est un régulateur de croissance appartenant à la famille des triazoles. Il inhibe la synthèse des gibberellines sans en bloquer l'activité. Le Paclobutrazol est transporté par le xylème et agit au niveau des cellules méristématiques sous-apicales. Le Paclobutrazol limite la croissance végétative et favorise la fructification. La productivité du manguiier peut être ainsi augmentée (VUILLAUME, 1991) mais l'action de ce régulateur dépend des conditions pédo-climatiques de la zone de production et de la variété.

Les basses températures, la sécheresse et les incisions sont connues pour limiter la croissance végétative. Ces stress affectent la conductance des stomates et la capacité d'échange de gaz des feuilles. Cependant, il est difficile de juger de leur incidence sur la floraison.

Les travaux de GOGUEY (1995) montrent que des déficits marqués en eau correspondent à des années de « mauvaise » floraison en Côte d'Ivoire. Les « meilleures » floraisons ont été observées sur les périodes où les bilans hydriques (pluviométrie - ETP) étaient proches de 0 ou légèrement négatifs.

Les faibles températures ont une influence positive certaine sur l'induction florale.

La maturité des bourgeons terminaux et l'accumulation d'hydrates de carbone sont associées à la floraison. Cependant, les connaissances portant sur la nature et la synthèse du stimulus floral dans les feuilles demeurent limitées.

Par ailleurs, il semble que la lumière joue un rôle d'inhibition ou d'induction dans la floraison.

• fleurs mâles et fleurs hermaphrodites

Les fleurs ont un diamètre d'environ 6 mm. Leur ouverture débute la nuit et le plein épanouissement a lieu vers 8 h du matin.

Il existe deux types de fleurs : des fleurs hermaphrodites (appelées aussi parfaites) et des fleurs mâles.

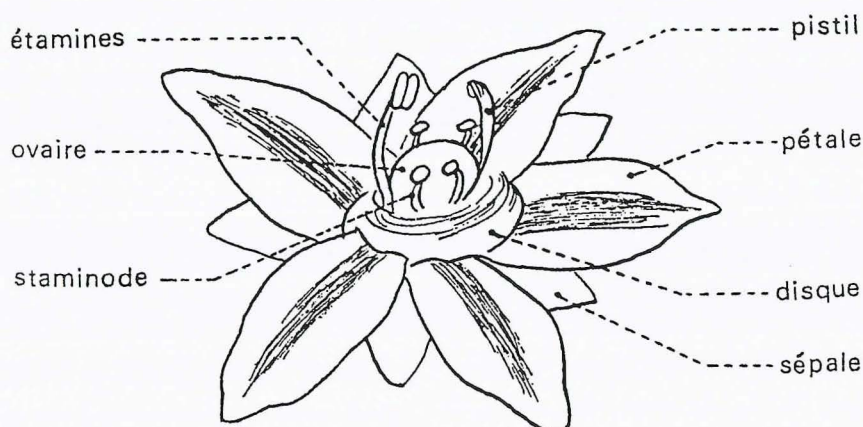


Figure 2 : schéma d'une fleur parfaite

Le développement des fleurs mâles est identique avec un carpelle dégénéré et sans le disque.

Lors d'un congrès sur la mangue en 1989 (GOGUEY, 1989), différents intervenants ont exposé les résultats suivants : les pourcentages de fleurs hermaphrodites varient beaucoup selon les variétés. Par ailleurs, il a été montré par LAVI qu'une corrélation positive existe entre le nombre de fleurs et la productivité. En Israël (GAZIT), le pourcentage de fleurs fécondées est nul au début de la floraison, atteint 10% en milieu de floraison, puis 40-50% en fin. Ces résultats seraient dus au froid durant le début de la floraison qui entraîne des dégénérescences du pollen et du pistil. A Taïwan (YANG), la gamme de températures optimales pour obtenir des fleurs parfaites se situe entre 18 et 25°C. Il y a inhibition en dessous de 18°C et au-dessus de 25°C. 45.2% des fleurs parfaites se trouvent à l'extrémité de l'inflorescence. L'orientation de l'arbre semble jouer un rôle important, avec 41.3% des fleurs hermaphrodites au Sud, 26.0% à l'Ouest et 20.7% au Nord. Le sex-ratio diminue avec l'âge des arbres. L'ombrage réduit le total de fleurs hermaphrodites. En revanche, certains facteurs semblent sans effet (diamètre et hauteur de l'arbre, longueur de la panicule).

• pollinisation, fructification (GOGUEY, 1995)

La pollinisation des fleurs du manguier est essentiellement entomophile et croisée mais certains cas d'auto-pollinisation permettent de penser qu'elle peut s'effectuer par gravité.

Le faible taux de fécondation est lié à :

- un faible taux de germination du pollen
- une mauvaise conformation de l'ovaire ou du pistil des fleurs hermaphrodites, pouvant être due à des températures trop basses lors de la formation de ces fleurs,
- un rapport des longueurs étamine et pistil éloigné de 1, limitant l'auto-fécondation de certaines variétés.

2.3. DEVELOPPEMENT DE LA MANGUE

D'après QUINTINA (1984), la courbe de croissance du fruit sur l'arbre peut être divisée en trois phases de durée variable selon les variétés :

- 2 semaines de faible croissance
- forte augmentation du taux de croissance de la 3^{ème} à la 8^{ème} semaine
- ralentissement de la croissance jusqu'à maturité, entre la 11^{ème} et la 14^{ème} semaine.

LODH et PANTASTICO (1975) expliquent les phénomènes d'accumulation et de mobilisation des nutriments dans les organes de stockage durant la croissance : un fruit en croissance est un système complexe de tissus en activité métabolique. Le mouvement des nutriments des feuilles vers le fruit se fait contre le gradient de concentration. Dans le cas de l'amidon, les carbohydrates solubles des feuilles deviennent insolubles dans l'organe de stockage. Les acides organiques sont quant à eux contenus dans les vacuoles.

En ce qui concerne la mangue, cette accumulation concerne les éléments suivants :

- sucres : glucose et fructose sont pratiquement absents lors de cette phase. L'apparition des sucres réducteurs marque la fin de la prématurité. A ce stade de la maturation, la concentration en sucres totaux, glucose et fructose augmente brutalement.

- amidon : sa quantité augmente jusqu'à ce que le fruit atteigne sa pleine maturité.

- acides : après une augmentation aux premiers moments de la croissance, l'acidité titrable décline tout au long de la maturation du fruit.

- tanins : on assiste à une baisse progressive de la concentration tout au long de la maturation.



Photo 1 : développement de fruits sur l'inflorescence (Kent)

Le choix de la date de récolte est primordial en particulier lorsqu'il s'agit d'exportation de fruits frais. Le fruit doit avoir acquis toutes les caractéristiques requises pour que sa maturation post-récolte se déroule dans les meilleures conditions. La principale difficulté réside dans le fait que :

- un fruit cueilli immature évoluera mal. Son goût et son aspect (phénomène de flétrissement) le rendront impropre à la consommation.
- un fruit cueilli tardivement atteindra sa pleine maturation trop rapidement et de ce fait ne supportera pas le transport.

• productivité

De nombreux facteurs réduisent la productivité comme :

- l'alternance vraie
- l'entretien du verger
- l'intensité de la floraison, pourcentage de fleurs parfaites
- certaines conditions climatiques défavorables (le gel dans certaines régions, une forte pluviométrie ou des vents gênant ou empêchant la fécondation)
- des attaques de maladies ou d'insectes, plus fortes et mal contrôlées sur les jeunes fruits

Si l'on se place en aval du mécanisme de floraison, on constate que deux facteurs essentiels limitent le rendement du manguiier :

→ le faible nombre de fleurs fécondées sans rapport avec le potentiel de fleurs hermaphrodites aptes à donner des fruits,

→ la chute importante de jeunes fruits fécondés (hormis les chutes « physiologiques » régulièrement observées).

D'après QUINTINA (1984), la chute des fruits est divisée en 3 étapes :

- de l'anthèse au 21^{ème} jour : la chute est due à une pollinisation et à une fécondation insuffisante. Le taux d'inhibiteurs est élevé, alors que celui des incitateurs de croissance est faible, ce qui constitue la raison essentielle de la chute des fruits.
- de 28 à 35 jours : cette chute correspond à la période où la teneur des fruits en cytokines est à son minimum.
- après 35 jours : la croissance des fruits les plus gros inhibe celle des plus jeunes.

2.4. MATURATION DE LA MANGUE

On définira la maturité des mangues comme étant l'état physiologique du fruit à la récolte. La maturation sera quant à elle le processus post-récolte qui va rendre le fruit consommable.

La respiration se maintient après la récolte grâce à l'utilisation de substances de réserves, prioritairement les glucides, et parfois les protéines et les lipides membranaires.

L'intensité respiratoire représente un des facteurs importants de la conservation puisque plus le fruit respire, plus sa durée de vie sera courte.

La mangue est un fruit climactérique : l'intensité respiratoire est assez faible et constante jusqu'à un certain stade, puis augmente brutalement jusqu'à un maximum appelé « pic climactérique » (d'après PANTASTICO, 1984). Cette crise climactérique est liée à une brusque augmentation du dégagement d'éthylène.

Après la récolte, la crise climactérique se déclenche donc, avec un pic de production de CO₂ correspondant à l'intensification de la respiration. Différentes transformations se déroulent alors :

- transformation de l'amidon en sucre et diminution de l'acidité titrable.
- disparition des pigments verts de la peau.
- coloration de la chair en jaune-orangé et ramolissement.
- apparition du parfum et du goût caractéristique de la mangue.
- perte de poids au cours de la maturation.

Cette perte de poids a une double origine : d'une part des pertes en eau, dues à la transpiration du fruit, d'autre part des pertes de matière par la respiration et les activités métaboliques.

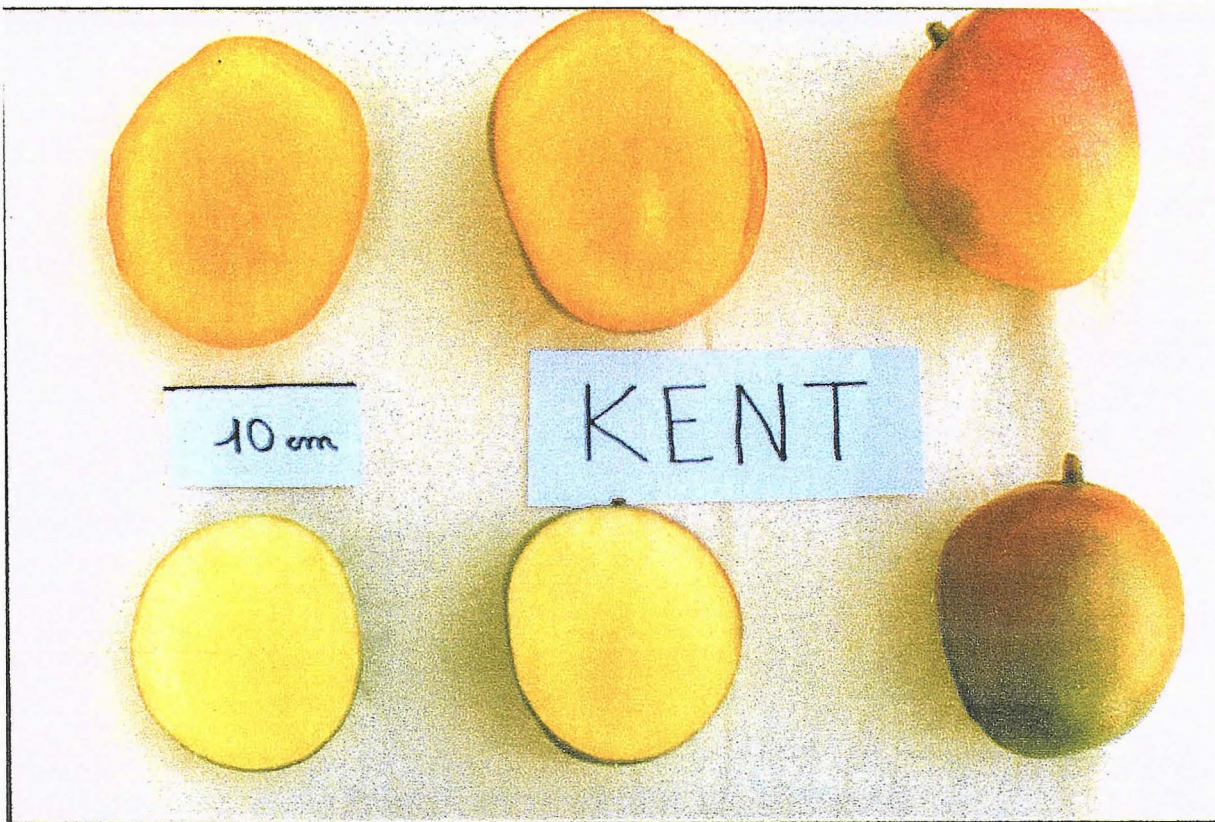


Photo 2 : mangue Kent à la récolte et après maturation

2.5. INDICES D'APPRECIATION DE L'APTITUDE A LA MATURATION DES MANGUES

D'après CRISOSTO (1994), l'association de la couleur interne et de la fermeté du fruit est un bon indice de la maturité des fruits. L'extrait sec soluble (ESS) serait un indicateur difficile à relier à la qualité du fruit.

BEZUIDENHOUT (1987) a étudié la corrélation de différents facteurs avec la couleur interne. Ses conclusions sont les suivantes :

- fermeté : une corrélation négative a été observée entre la force de pénétration et l'extension de la couleur jaune.

- extrait sec soluble (ESS) : on observe une bonne corrélation entre la concentration en ESS et la coloration jaune. Le stade optimal de récolte dépend de la variété. BEZUIDENHOUT (1987) cite 7,3° Brix pour la variété Sensation et 7,6 pour Irwin. En revanche, DE LAROUSSILHE (1979) estime qu'avec 12 à 15° Brix à la récolte, la variété Haden est apte à une maturation normale.

- épaules du fruit : leur présence peut être reliée à l'indice de maturité (couleur interne) pour quelques variétés seulement.

KOSIYACHINDA (1984) rappelle que l'appréciation de la maturité du fruit se fait traditionnellement de manière subjective. Cependant, il cite comme indices d'évaluation de la maturité, outre les méthodes d'évaluation visuelle et celles liées au toucher, la couleur, le développement des épaules du fruit, la densité du fruit, le taux d'amidon, l'acidité titrable, l'ESS. Cependant, l'âge physiologique du fruit est selon lui le critère le plus simple pour apprécier le degré de maturité de la mangue et prévoir ainsi les récoltes. Selon les variétés étudiées, l'âge optimal du fruit à la récolte est compris entre 78 et 115 jours. La principale difficulté réside dans le fait que ces âges n'ont pas été calculés de la même manière (à partir de l'ouverture de la première fleur de l'inflorescence, à partir de celle de la dernière, à partir d'un stade donné du développement du jeune fruit...).

PANTASTICO (1984) rappelle également que la croissance de nombreuses plantes est liée à la température ambiante. Les températures moyennes de chaque journée depuis le début du développement jusqu'à la récolte du fruit sont additionnées. Le total donne alors le nombre de degrés nécessaires pour que le fruit puisse être récolté.

Partie III : MATERIELS ET METHODES

3.1. MATERIEL DISPONIBLE

3.1.1. Matériel végétal

La station expérimentale de Lataha comprend une dizaine d'hectares de manguiers, dont une collection comprenant environ 200 variétés. On compte 15 parcelles de manguiers réparties sur l'ensemble de la station.

On s'est intéressé particulièrement à 4 variétés : Kent, Keitt, Amélie et Galerie. Les principales caractéristiques de ces variétés sont données en annexe.

3.1.2. Matériel de laboratoire

Le matériel suivant a été utilisé :

- nuancier : pour l'estimation de la couleur interne, nous avons utilisé un nuancier comportant des couleurs notées de 2 à 16, allant du blanc à l'orange.

- pénétromètre à arbalète : pour la mesure de la fermeté, nous avons utilisé cet appareil, constitué d'une tige de section connue (ici 2,5 mm), fixée sur un ressort, dont les compressions sont indiquées sur une échelle graduée en fractions de kg. En appuyant l'extrémité de la tige sur la peau ou la chair de la mangue, le ressort se trouve comprimé et on lit la pression que l'on doit exercer pour faire pénétrer la tige dans le fruit.

- broyeur IKA Ultra-turax *Janke & Kunkel*, qui permet de disperser et d'émulsionner des solutions entre 8000 et 24 000 tours/min.

- mixeur *Braun* multiquick system 100

- balances numériques, *Sartorius* 1204 MP de précision $\pm 0,01$ g et *Sartorius* analytic de précision $\pm 0,1$ g.

- réfractomètre numérique, PR-1 *Atago*, précision de 0,2 °brix avec compensation de l'effet de la température entre 10°C et 40°C.

- pHmètre, *Crison* MicropH 2001, gammes de pH entre 0 et 14, résolution de 0,01 unité pH. Appareil contenant une électrode combinée Ag/AgCl et une sonde de compensation de température.

- matériel de dosage pour la mesure de l'acidité titrable à la soude

3.2. ETUDE DE LA PHYSIOLOGIE DE LA FLORAISON ET DE LA FRUCTIFICATION DU MANGUIER

3.2.1. Objectifs

Le but principal de cette étude est de trouver une méthode de marquage plus fiable que celle utilisée à l'heure actuelle, afin de déterminer avec plus de précision l'âge réel d'un fruit, c'est à dire le temps écoulé depuis la date d'ouverture de la fleur dont il est issu. En effet, les marquages d'inflorescences réalisés à l'heure actuelle correspondent à la date d'ouverture de la fleur terminale (en position apicale). Le fruit porté par l'inflorescence marquée peut cependant provenir d'une fleur femelle ouverte jusqu'à une dizaine de jours avant la date notée.

Afin d'améliorer la technique de marquage, on a donc cherché à :

- connaître les écarts entre la date d'ouverture de la première fleur mâle de l'inflorescence, celle de la première fleur femelle et celle de la fleur en position apicale.
- étudier, à partir du repérage précis de la date d'ouverture de la fleur femelle, l'évolution de la taille, de la forme et de la couleur du jeune fruit.

Ceci va permettre d'estimer l'incertitude sur l'âge physiologique du fruit lorsqu'on emploie la méthode actuelle de marquage.

Par ailleurs, il sera intéressant de déterminer un nouveau critère de repérage, basé non plus sur les dates d'ouverture des fleurs mais sur le moment où le jeune fruit a atteint une taille donnée.

Une telle technique de marquage présente d'une part l'avantage de réduire les écarts d'âge entre les fruits d'un même lot (d'âge supposé identique), d'autre part d'augmenter le nombre de fruits marqués disponibles (un fruit a plus de chance de se développer lorsqu'il a été repéré non pas au moment de la floraison mais au début de son développement).

3.2.2. Méthode

- des marquages d'inflorescences ont été réalisés sur 4 variétés de manguiers (Kent, Keitt, Amélie et Galerie), la date de marquage correspondant à la date d'ouverture de la dernière fleur de l'inflorescence :

→ 20 inflorescences marquées par variété (Kent, Keitt, Amélie et Galerie) début février pour la détermination de la date d'ouverture de la première fleur, celle de la première fleur femelle puis celle de la fleur terminale.

→ 20 inflorescences marquées par variété pour connaître les dates d'ouverture de fleurs femelles précisément repérées et suivre par la suite la croissance des fruits.

- les caractéristiques de chaque panicule repérée sont notées (parcelle, arbre, longueur, hauteur, orientation et exposition).

3.3.3. Etude secondaire portant sur les taux de fructification

- Objectif :

Cette étude vise à mettre en évidence les variations du pourcentage d'inflorescences marquées sur lesquelles un fruit s'est développé normalement en fonction des dates d'étiquetage. Par ailleurs, on peut chercher des corrélations avec certaines données météorologiques (pluviométrie, températures...).

- Méthode :

Des inflorescences ont été étiquetées au moment de la floraison sur 4 variétés (Kent, Keitt, Amélie et Galerie), de décembre à début février. La date de marquage correspond à la date d'ouverture de la dernière fleur de l'inflorescence. En fonction de la date d'étiquetage, nous avons noté les panicules qui ont donné des fruits. Ces données seront mises en relation avec les paramètres météorologiques.

3.3. ETUDE DES CRITERES D'APPRECIATION DE LA MATURITE DES MANGUES :

3.3.1. Objectifs

Le but est de déterminer les âges optima de récolte des mangues (Kent, Keitt, Amélie et Galerie) et de les relier à quelques paramètres physico-chimiques.

Cette étude, qui porte sur environ 1200 fruits, va permettre de déterminer, selon les variétés et les différentes périodes de floraison, l'évolution du fruit et de ses paramètres physico-chimiques en fonction de son âge physiologique. On pourra par ailleurs comparer le degré de précocité des variétés Amélie et Galerie ou bien les différences entre des fruits de même âge mais issus de différentes périodes de floraison.

Par ailleurs, on a cherché à mettre en évidence des corrélations entre le degré de maturité des fruits et les quantités de chaleur (ou « sommes » de températures) reçues par ces fruits durant leur période de développement. Ce critère, qui est retenu pour l'appréciation de la maturité des bananes par exemple, peut s'avérer plus intéressant que l'âge physiologique du fruit.

3.3.2. Matériel

Le matériel végétal utilisé est celui de la station de Lataha. Outre le matériel de laboratoire précédemment cité, cette étude nécessite uniquement du matériel de mesure des températures.

Pour l'étude sur les sommes de température, la station de Lataha dispose d'une station météorologique. Le responsable météo consigne chaque jour dans un cahier l'ensemble des mesures relevées.

Nous disposons également d'une station météorologique automatique (CIMEL) qui n'a jamais été mise en route faute de personnel compétent. La maintenance de cet appareil n'a pas été effectuée convenablement et une partie du matériel est à renouveler. C'est pourquoi cet appareil n'a pas pu fonctionner durant cette étude. Il aurait pourtant permis de calculer beaucoup plus précisément les sommes de température.

3.3.3. Méthode

♦ Marquage des inflorescences et établissement des lots :

Des inflorescences ont été étiquetées au moment de la floraison sur 4 variétés (Kent, Keitt, Amélie et Galerie), de décembre à début février. La date de marquage correspond à la date d'ouverture de la dernière fleur de l'inflorescence.

Depuis la seconde quinzaine de mars, les récoltes de mangues (Galerie, Amélie, Kent et Keitt) d'âge physiologique différent ont débuté. Il a été décidé d'étudier, dans la mesure où le nombre de fruits est suffisant, différentes périodes de floraison. A cet effet, les fruits sont récoltés à 3 ou 4 stades de maturité différents de manière à encadrer la maturité export, à environ 10 jours d'intervalle. Pour chaque stade, environ 30 fruits sont analysés à la récolte et 30 autres laissés en maturation.

- **Kent** ,d'âge physiologique 89 j, 100 j et 120 j pour les floraisons de Janvier puis 80 j, 90 j, 100 j, 120 j et 140 j pour les floraisons de Février.
- **Keitt** ,d'âge physiologique 91 j, 102 j, 112 j et 132 j pour les floraisons confondues de Janvier et Février.
- **Amélie**, d'âge physiologique 110 j, 120 j pour les floraisons de Décembre puis 89 j, 100 j et 111 j pour les floraisons de Février.
- **Galerie**, d'âge physiologique 101 j, 111 j, 118 j pour les floraisons de Décembre et 80 j, 91 j, 101 j et 111 j pour les floraisons de Février.

♦ Mesures et analyses :

Les mesures et analyses réalisées sur les fruits sont les mêmes que celles réalisées par M. Guepratte l'année précédente, exception faite de la matière sèche. Pour les fruits analysés à la récolte, on mesure :

- *le poids*
- *les fermetés externe et interne* (mesure réalisée sur 3 points)
- *la couleur externe* (de 0/4 de couleur verte à 4/4 vert, soit une note de 0 à 4)
- *les couleurs internes* (déterminées à l'aide du nuancier sur une coupe longitudinale au ras du noyau du fruit, on note également le pourcentage de la surface occupée par chacune d'elles)
- *le pH*
- *le taux d'extrait sec soluble (ESS)*, mesuré au réfractomètre
- *l'acidité*.

La seconde moitié de chaque lot de fruits est analysée après maturation. La maturation s'effectue à température ambiante dans une pièce où la température s'est maintenue tout au long de l'expérience à $30^{\circ}\text{C} \pm 2$. On note pour chacun de ces fruits :

- *la durée de maturation* (déterminée selon des critères visuels et tactiles, certes empiriques mais qui sont ceux utilisés par le consommateur)
- *la perte de poids* durant la maturation
- *l'aspect du fruit* (flétri...)
- *la couleur externe* ainsi que *la fermeté externe*
- *le pH, l'ESS et l'acidité.*

Par ailleurs, on note à la récolte pour chaque fruit :

- *la date de marquage* (date de floraison) et *la date de récolte*, que l'on reliera avec les données climatiques de la période considérée.
- *la parcelle d'origine*
- *l'orientation* du fruit par rapport aux points cardinaux et sa position en *hauteur* sur l'arbre (impact de l'ensoleillement)
- *la somme de température* reçue par le fruit au cours de son développement.

Les « sommes de températures » sont calculées pour chaque fruit en additionnant les températures journalières moyennes. Les résultats des mesures et analyses physico-chimiques réalisées sur ces fruits permettront de relier un degré de maturité à une certaine somme de température.

◆ Protocole de mesure de l'ESS, du pH et de l'acidité :

Les mesures de fermeté, de coloration et de pesée sont réalisées sur le fruit après récolte. La pulpe est alors récupérée et conservée au congélateur.

Le protocole concernant les mesures de pH, d'ESS et d'acidité est basé sur les normes françaises NF V 05-101, NF V 05-108 et NF V 05-109.

Après décongélation de la pulpe, l'exsudat formé par la pulpe est récupéré pour mesurer l'ESS. Par la suite, la pulpe est broyée au mixer et on réalise les mesures de pH sur le broyat obtenu.

Ce dernier est dilué dans de l'eau distillée (30 g dans 120 g d' H_2O) et mélangé au broyeur. L'acidité est dosée sur 40 g du mélange avec de la soude 0,1 N et de la phénolphthaléine. La teneur en acidité sera exprimée en mg d'acide citrique pour 100 g de pulpe selon la formule suivante :

$$\text{Acidité} = (N.Veq.192.100)/(3m)$$

Acidité en mg d'acide citrique pour 100g de pulpe

N, normalité de la soude (ici 0,1 N)

Veq, volume de soude à l'équivalence en ml

m, masse de pulpe contenue dans l'échantillon dosé en g, soit m = 8g.

Les mesures d'ESS, de pH et d'acidité sont toutes répétées à trois reprises.

3.4. TRAITEMENT STATISTIQUE DES DONNEES

Chaque fruit a été individualisé par un numéro, et une fiche comprenant toutes les données recueillies au long de la réalisation des mesures lui a été attribuée. Certains individus ont dû être éliminés lors de la saisie, principalement ceux pour lesquels un problème sanitaire risquait de perturber les mesures (par exemple, piqûre de manges par la mouche des fruits....).

Ces données ont été reprises sur un tableur. Les premières tendances qui ont alors été observées ont permis d'orienter l'étude statistique menée fin août au sein du service Biométrie et informatique du CIRAD à Montpellier.

L'analyse statistique a été réalisée à l'aide du logiciel SAS, dans sa version 6.12., qui a l'avantage de pouvoir fonctionner sur des lots d'effectifs distincts, sans prendre en compte les données manquantes.

Pour chaque mesure, les analyses suivantes ont été effectuées :

- procédure GLM (General Linear Models Procedure) : il s'agit d'une **analyse de variance** qui permet de vérifier si les différences observées entre les moyennes des différents lots pour chaque donnée mesurée sont significatives. C'est à dire qu'on vérifie si la variation de résultat pour une même mesure entre les différents lots se distingue de la variabilité de cette mesure chez les individus d'un même lot.

- test de Student-Newman-Keuls : ce test permet l'établissement de groupes homogènes, pour observer si des lots sont proches concernant une mesure donnée. Cette procédure permet d'affirmer si les différences des moyennes sont ordonnées.

- matrices de corrélation : cette technique a été utilisée afin de déterminer quelles étaient les mesures enregistrées lors des analyses à la récolte qui pouvaient être reliées entre elles.

Partie IV : RESULTATS ET DISCUSSIONS

4.1. ETUDE DE LA PHYSIOLOGIE DE LA FLORAISON DU MANGUIER

4.1.1. Estimation de l'incertitude sur l'âge physiologique du fruit

Cette étude a été réalisée selon le protocole défini en 3.2.2.

Les marquages d'inflorescences sont effectués en vue de repérer des mangues d'âge physiologique connu (temps écoulé entre l'ouverture de la fleur qui va donner le fruit et la date de récolte).

La méthode utilisée à l'heure actuelle repose sur le marquage d'inflorescences à la date de l'ouverture de la fleur terminale. Il est en effet difficile de repérer chaque fleur en particulier, une inflorescence pouvant en compter plus de 1000. C'est pourquoi, l'âge physiologique du fruit récolté est connu avec une imprécision qu'il est intéressant de déterminer.

Le suivi de 40 inflorescences par variété a permis d'obtenir les résultats suivants.

Ecart exprimé en nombre de jours \pm l'écart-type :

Variété	1 ^{ère} fleur ♂ - 1 ^{ère} fleur ♀	1 ^{ère} fleur ♀ - fleur terminale	1 ^{ère} fleur ♀ - ensemble des fleurs	1 ^{ère} fleur ♀ - fruits de 2mm de Ø
KENT	0,2 (\pm 0,1)	7,9 (\pm 0,8)	8,5 (\pm 0,9)	6,5 (\pm 1,0)
KEITT	0,9 (\pm 0,3)	6,7 (\pm 1,1)	7,5 (\pm 1,0)	6,1 (\pm 0,9)
AMELIE	0,4 (\pm 0,2)	6,1 (\pm 0,7)	7,2 (\pm 0,9)	6,1 (\pm 1,1)
GALERIE	1,1 (\pm 0,5)	8,6 (\pm 1,5)	9,0 (\pm 1,7)	6,8 (\pm 1,3)
Moyenne	0,7 (\pm 0,3)	7,3 (\pm 1,0)	8,0 (\pm 1,1)	6,4 (\pm 1,1)

Tableau 1 : écarts moyens entre les dates d'ouverture des premières fleurs mâles et femelles et celles de l'ensemble des fleurs de l'inflorescence

De manière générale, on observe que :

- les fleurs femelles apparaissent au plus un jour après la ou les premières fleurs mâles.
- l'écart entre l'ouverture de la 1^{ère} fleur femelle et la date d'ouverture de la fleur terminale est d'environ une semaine. On peut donc considérer que l'incertitude qui porte sur l'âge physiologique du fruit avec la méthode actuelle de marquage est comprise entre 6 et 9 jours. Il est donc évident à la vue de ces premiers résultats qu'il est inutile d'étudier des lots de fruits dont l'âge évalué ne différerait que d'une semaine. **Un écart de 10 jours d'âge au minimum entre les lots s'impose pour obtenir des résultats exploitables.**

Cependant, il faut reconnaître que ces résultats ont été obtenus sur un nombre restreint d'inflorescences et seulement sur les floraisons de février. Il ne s'agit donc que d'une étude préliminaire.

4.1.2. Etude de la distribution des fleurs sur l'inflorescence

Dans le but de déterminer une nouvelle méthode de marquage, il est utile d'obtenir des informations complémentaires sur le mode de floraison du manguier.

Il est intéressant de savoir quelle est la distribution des fleurs femelles (c'est à dire les fleurs qui vont donner le fruit) sur l'inflorescence. Cela peut en effet permettre, dans le cas où l'on désire marquer de manière précise des fleurs, d'augmenter la probabilité d'obtenir un fruit dont l'âge est connu exactement.

La figure 2 représente l'inflorescence. La position des fleurs a été codée de la manière suivante :

codage : position de l'axe secondaire sur l'inflorescence / position sur l'axe secondaire

exemple : une fleur portée par un axe secondaire situé en 1 (position proximale), située au centre de cet axe (zone 2) se trouvera dans la partie 1 – 2 de l'inflorescence.

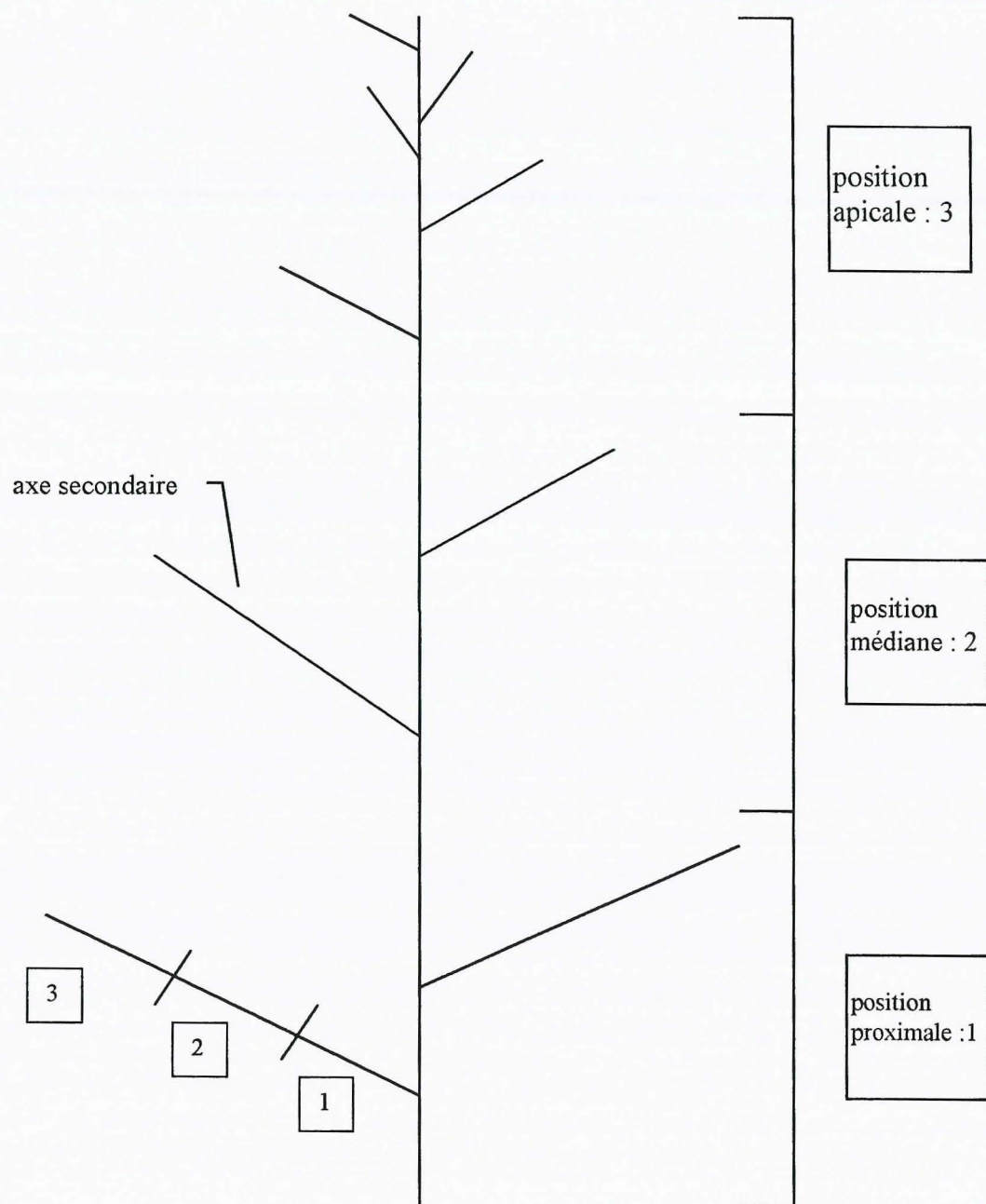


Figure 3 : schéma d'une inflorescence

Les comptages de fleurs ont été réalisés sur 20 inflorescences par variété. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 2. Ils sont exprimés sous forme de moyenne. Entre parenthèses, est exprimé l'écart-type.

Variété	% de fleurs ♀ en position proximale	% de fleurs ♀ en position médiane	% de fleurs ♀ en position apicale	Moyenne du % de fleurs ♀
KENT	6,1 (± 2,1)	20,9 (± 7,8)	32,5 (± 8,9)	20,5 (± 6,0)
KEITT	12,9 (± 4,3)	42,7 (± 15,1)	65,5 (± 18,0)	30,1 (± 8,9)
AMELIE	5,3 (± 2,2)	13,1 (± 5,7)	22,7 (± 7,9)	11,1 (± 4,1)
GALERIE	4,2 (± 1,5)	11,4 (± 3,5)	18,7 (± 6,7)	9,6 (± 3,3)
Moyenne	7,1 (± 2,8)	21,3 (± 8,0)	35,0 (± 11,1)	16,4 (± 5,3)

Tableau 2 : répartition des fleurs femelles sur l'inflorescence

Généralement, on peut dire **que les proportions de fleurs femelles sont plus élevées en partie apicale de l'inflorescence**. Les observations ont également montré que les zones 3 des axes secondaires portaient des pourcentages de fleurs femelles plus élevés.

Par la suite, ce sont ces mêmes zones qui portent le plus de jeunes fruits. Cependant, d'après GOGUEY (1995) et les observations réalisées à Lataha (cf. 4.2.2.), **les fruits arrivant à maturité se situent plus particulièrement dans la partie médiane voire proximale de l'inflorescence**.

C'est pourquoi on peut dire que le marquage précis de fleurs doit s'effectuer de préférence en position médiane ou proximale de l'inflorescence. On pourra alors **augmenter la probabilité que le marquage de la fleur permette le suivi complet du développement d'une mangue**.

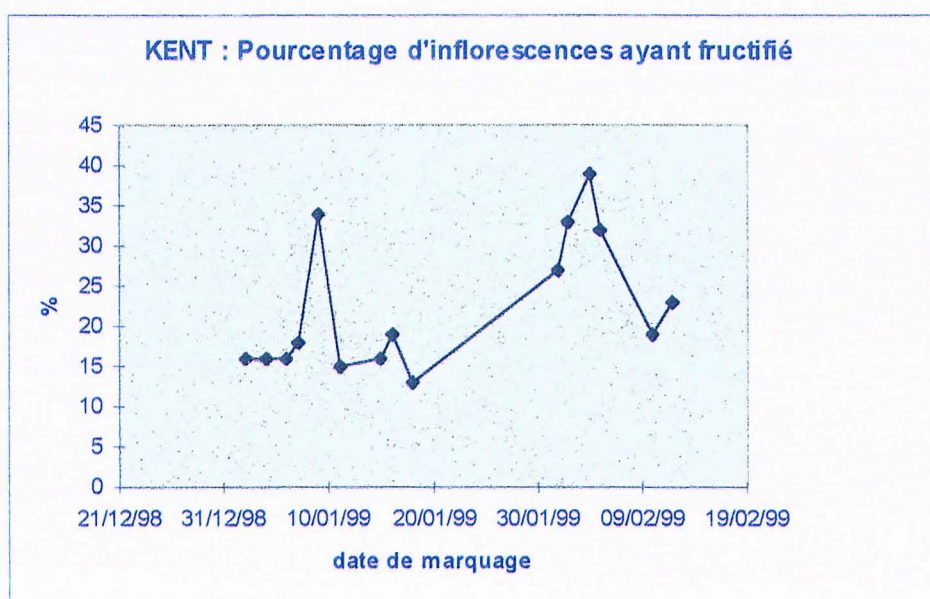
4.2. ETUDE DE LA PHYSIOLOGIE DE LA FRUCTIFICATION DU MANGUIER

4.2.1. Etude des variations des taux de fructification en fonction des dates de marquage

Des milliers d'inflorescences ont été étiquetées au moment de la floraison sur les 4 variétés étudiées. La date de marquage correspond à la date d'ouverture de la dernière fleur de l'inflorescence.

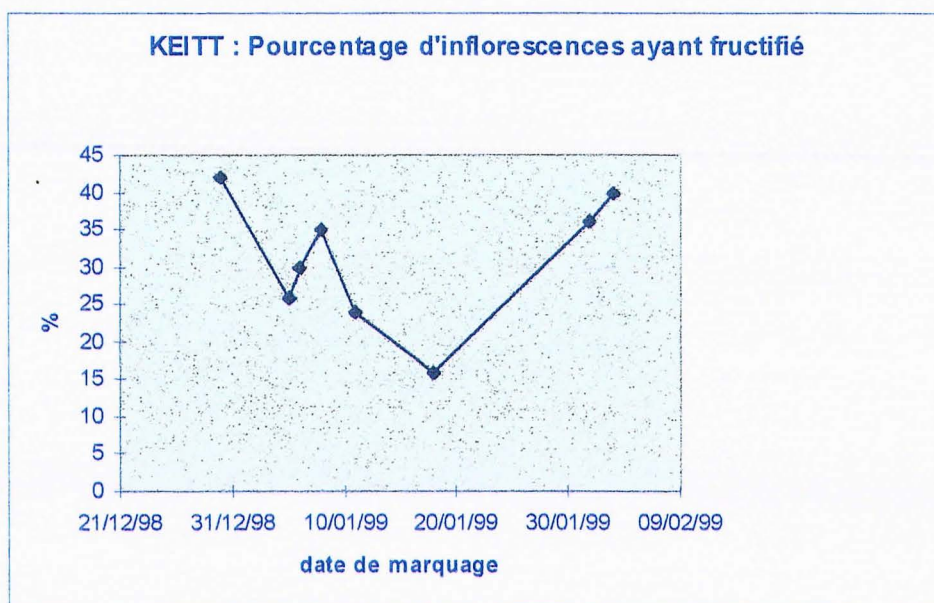
En fonction de la date d'étiquetage, nous avons noté les inflorescences ayant donné au moins un fruit.

L'ensemble des résultats est disponible en annexe 5.



Comme nous pouvons le constater, **les taux de fructification sont plutôt élevés : 25 % en moyenne, avec un maximum autour de 40 %.**

On observe 2 pics qui correspondent aux périodes de forte intensité de floraison : l'une autour du 10 janvier et l'autre durant la 1^{ère} semaine de février.

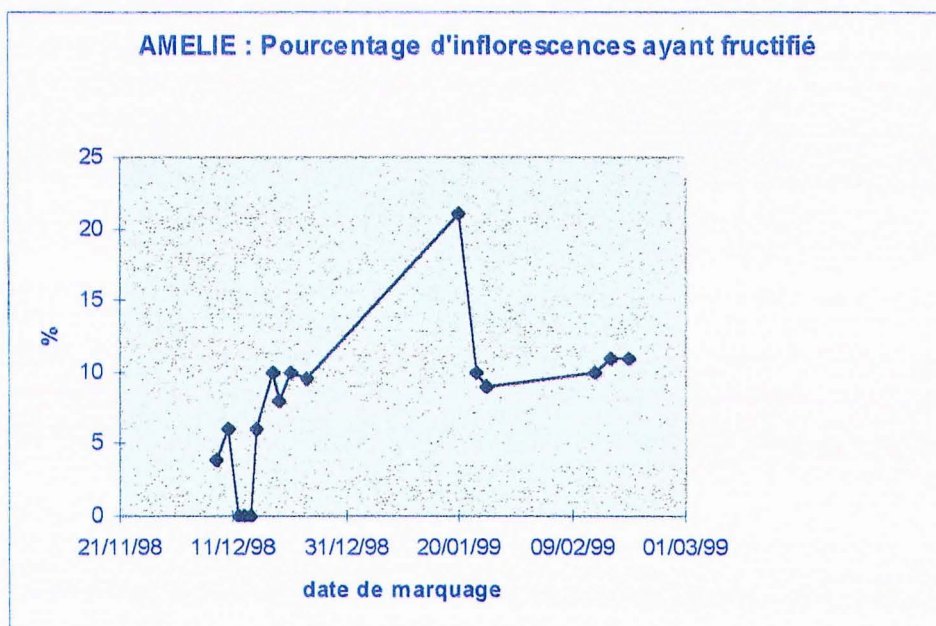


La variété Keitt est une variété connue pour bien fleurir, qui noue bien et qui produit beaucoup.

Ces résultats montrent qu'effectivement cette variété possède un taux élevé d'inflorescences ayant fructifié : **toute floraison confondue, le pourcentage s'élève à 31 %.**

Les premières floraisons ont eu un excellent taux de fructification dépassant les 40 %.

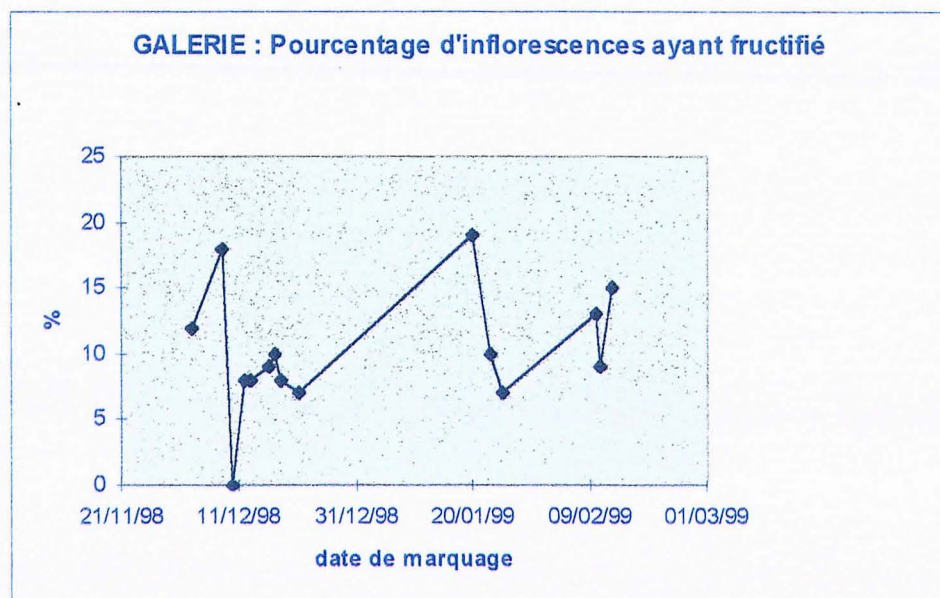
Enfin, la première semaine de janvier, ainsi que celle de février ont été, tout comme pour la variété Kent, propices à une bonne fructification.



Toutes floraisons confondues, on mesure un taux de fructification moyen de 10%.

On observe qu'autour du 15 décembre quasiment aucune inflorescence marquée n'a donné de fruit.

Par ailleurs, on note un pic au 20 janvier avec un maximum à 21 %.



Comme pour Amélie, on mesure un taux de fructification moyen de 10%.

On observe un pic à 18 % début décembre, qu'on ne retrouve pas chez Amélie.

Enfin, on note l'existence d'un autre pic au 20 janvier avec un maximum à 19 %. On remarque que pour Amélie c'est à cette même date que l'on relève le pourcentage le plus élevé.

Bilan :

Variété	Kent	Keitt	Amélie	Galerie
Taux de fructification (%)	25	31	10	10

Tableau 3 : taux moyens de fructification (toutes floraisons confondues)

La méthode actuelle de marquage pose de réelles difficultés avec les variétés Galerie et Amélie. En effet, afin d'obtenir un même nombre de fruits, il est nécessaire de réaliser beaucoup plus de marquages d'inflorescences sur ces deux variétés que sur Kent et Keitt.

Ceci pose des problèmes pratiques et c'est pour cela qu'on se propose de trouver une autre méthode de marquage basée non plus sur les dates d'ouvertures des fleurs mais sur le moment où le jeune fruit a atteint une taille donnée.

Il semblerait par ailleurs que les périodes où l'on rencontre les plus forts taux de fructification correspondent aux périodes où les floraisons ont la plus forte intensité.

On note également une certaine similitude dans les variations des taux de fructification des variétés Kent et Keitt avec dans les 2 cas un maximum atteint début janvier et un autre début février.

Enfin, on observe une augmentation du taux de fructification de la variété Galerie début décembre, ce qui tend à montrer que **Galerie est plus précoce que Amélie**.

Nous n'avons pas pu déterminer de corrélation entre les variations des taux de fructification et des variables telles que la température, l'hygrométrie. En effet, nous ne disposons pas de résultats sur certaines périodes, les marquages d'inflorescences n'ayant pas été réalisé dans ce but.

4.2.2. Suivi de la croissance de jeunes fruits

Ce suivi a été possible en repérant de manière précise des fleurs femelles sur l'inflorescence. Le codage utilisé est le même qu'en 4.1.2. avec des précisions supplémentaires permettant de repérer les fleurs.

La figure 2 (cf. 4.1.2.) représente l'inflorescence. La position des jeunes fruits a été codée de la manière suivante :

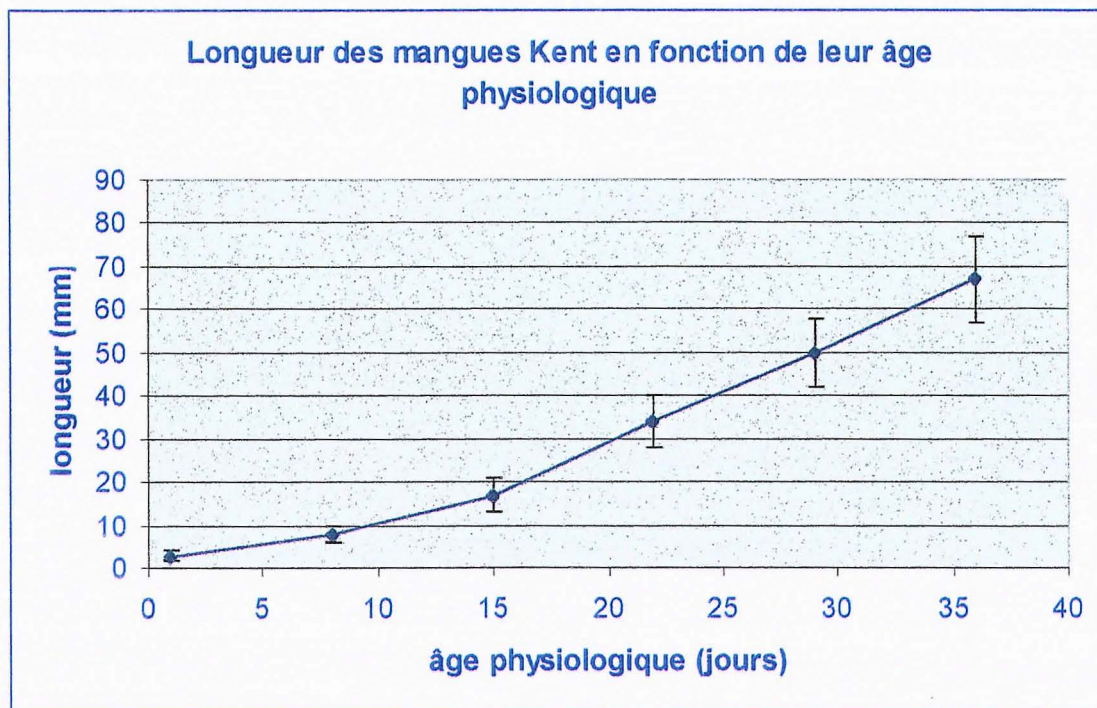
codage : position de l'axe secondaire sur l'inflorescence / position sur l'axe secondaire / n° de l'axe secondaire / n° de l'axe tertiaire / largeur - longueur (mm)



photo 3 : développement des mangues Kent à partir d'une fleur femelle

L'observation de la forme des jeunes fruits, en particulier des sinus et des apex n'a pas permis de déterminer des âges précis où des modifications apparaissaient.

Réaliser des marquages de jeunes fruits en se basant sur leur aspect semble difficile. En effet, pour une même taille, les fruits offrent des aspects bien différents. **Il n'a donc pas été possible, au cours de cette étude, de déterminer un critère de marquage de jeunes fruits en se basant sur leur forme ou bien leur couleur.**



Les résultats présentés ont été obtenus à partir de l'observation de la croissance de 28 fruits. Il s'agit de moyennes et des écart-types correspondants.

Les observations ont montré qu'il existe une première phase de 2 semaines durant laquelle la croissance est faible.

Par la suite, on note un taux élevé de croissance qui semble demeurer constant jusqu'à au minimum 40 jours.

La longueur du fruit est directement liée à son âge réel. L'incertitude portant sur la longueur pour un même âge est raisonnable et **on peut donc envisager un système de marquage qui consisterait à marquer les fruits à une taille donnée.**

Cependant, il faut rappeler que le suivi précis de la croissance de jeunes fruits posent de nombreux problèmes qui font qu'il est difficile d'en suivre beaucoup. En effet, les taux d'inflorescences qui fructifient sont relativement faibles et le repérage précis de fleurs s'avère rapidement fastidieux. Ces résultats ne fournissent donc que des indications préliminaires et doivent donc être complétés par des études plus avancées.

4.3. ETUDE DES CRITERES D'APRECIATION DE LA MATURITE DES MANGUES (variété Kent)

Note 1 : lorsqu'on fera allusion à la maturité export, il s'agira de la maturité requise pour l'exportation par bateau. Nous n'aborderons pas les exportations par avion qui posent moins de problèmes d'appréciation de la maturité du fait du faible temps de transport.

Note 2 : l'ensemble des graphiques (courbes et histogrammes) représentent des valeurs moyennes accompagnées d'une barre d'erreur l'encadrant qui correspond à l'écart-type.

4.3.1. Caractérisation des fruits après maturation

Dans un premier temps, nous allons étudier le lien entre degré de maturité et âge physiologique en présentant les résultats issus d'observations empiriques (aspect externe du fruit, dégustations...).

Par la suite, nous montrerons qu'il existe une corrélation entre les taux d'ESS et d'acidité mesurés après maturation et le degré de maturité des mangues à la récolte.

Enfin, la durée de maturation et la perte de poids au cours de la maturation seront mis en relation avec l'âge des fruits, ainsi que des phénomènes tels que le flétrissement.

4.3.1.1. Appréciation de l'âge physiologique idéal pour l'exportation

Le tableau suivant présente pour la variété Kent le degré de maturité des fruits en fonction de leur âge physiologique.

Ce degré de maturité a été déterminé de manière empirique par observation des caractéristiques externes, par le suivi de la maturation et par plusieurs dégustations.

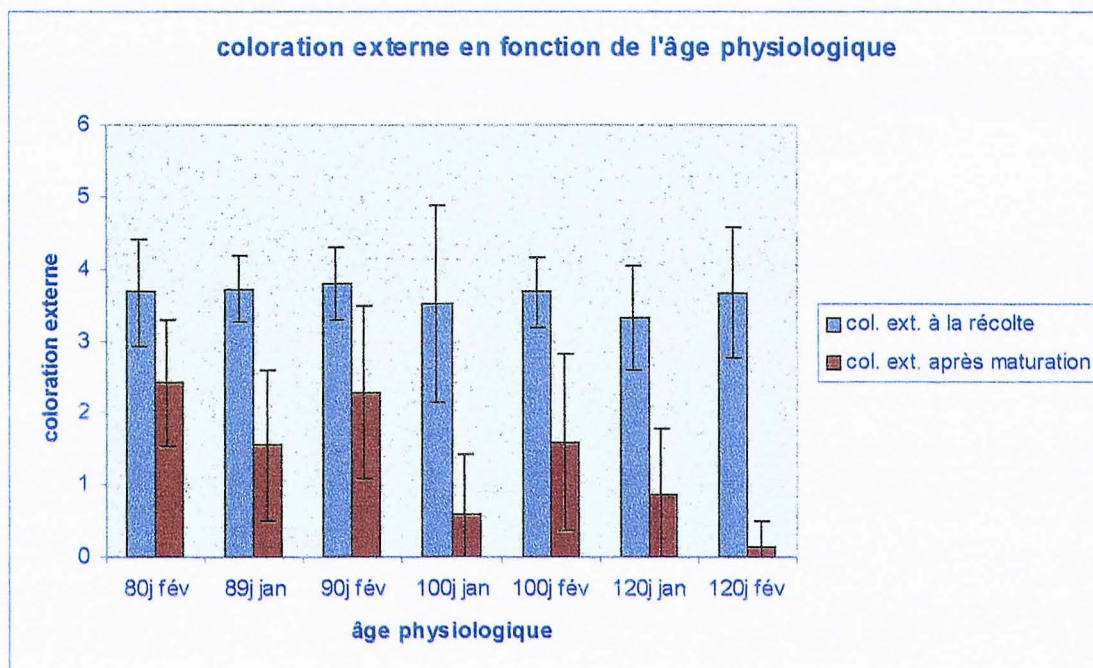
Période de floraison	Age physiologique	Degré de maturité
Janvier	89 jours	Immature avec flétrissement des fruits
Janvier	100 jours	Immature avec parfois flétrissement
Janvier	120 jours	Maturité pour l'exportation
Février	80 jours	Immature avec flétrissement des fruits
Février	90 jours	Immature avec parfois flétrissement
Février	100 jours	Limite de la maturité pour l'export
Février	120 jours	Maturité pour l'exportation
Février	130 jours	Surmaturité

Tableau 3 : lots récoltés pour l'étude de la variété Kent

En ce qui concerne **Kent**, les âges physiologiques choisis ont permis d'encadrer la maturité idéale pour l'exportation, que l'on peut estimer à **110 - 120 jours**.

Il faut rappeler que ces âges - export peuvent varier d'une année ou d'un verger à l'autre. Ces résultats permettront à l'avenir de mieux cibler l'âge idéal pour l'exportation.

→ Exemple de critère permettant d'évaluer la qualité du fruit après maturation : coloration externe à la récolte et après maturation



La coloration externe à la récolte ne varie que très peu avec l'âge. La moyenne des notes est toujours très proche de 4 ; c'est à dire que peu de mangues Kent présentaient à la récolte une peau en partie rouge. Ceci aurait pu constituer un inconvénient pour la vente.

Mais le plus intéressant réside, bien entendu, dans l'observation de l'évolution de la coloration externe après maturation, en fonction de l'âge du fruit.

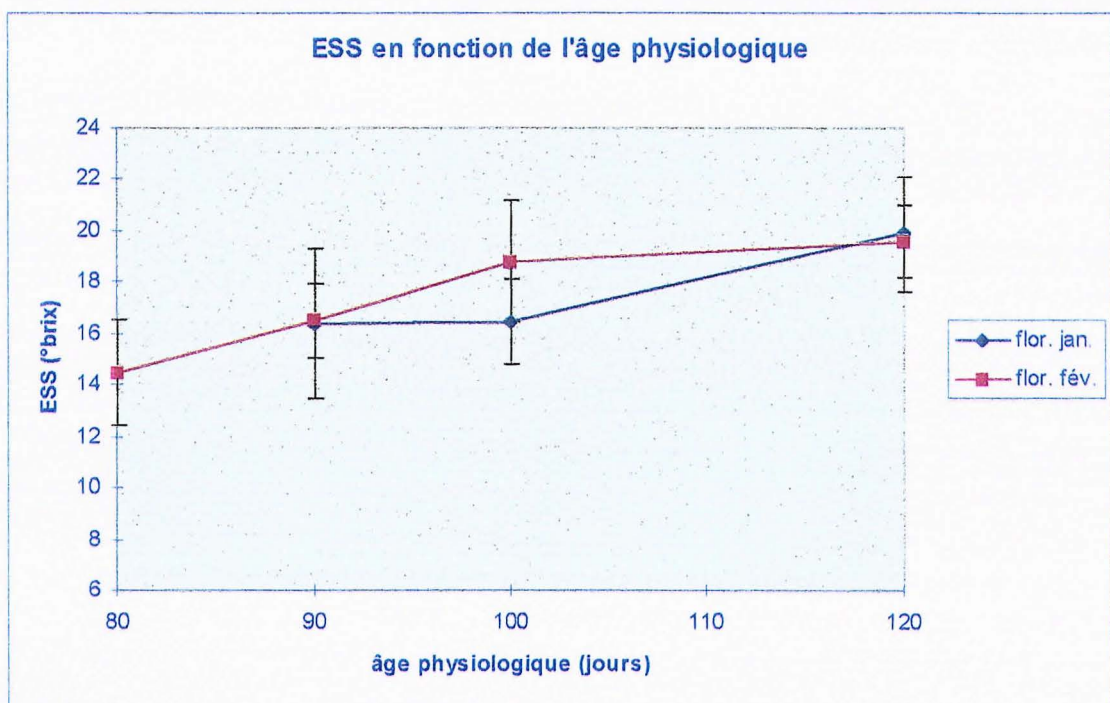
On remarque tout d'abord une nette diminution de la couleur verte (au profit du rouge) lorsque l'âge du fruit récolté augmente. La coloration externe à la récolte est ainsi directement liée au degré de maturité du fruit à la récolte : un fruit récolté à un stade trop jeune ne pourra pas présenter une coloration externe normale pour un fruit mature, c'est à dire rouge.

On peut également noter des différences entre les fruits issus des floraisons de janvier et ceux de février, en particulier pour les âges 90 et 100 jours. Il apparaît que les fruits de février obtiennent après maturation une note de coloration externe supérieure aux autres, ce qui laisse à penser qu'ils ont un degré de maturité moindre.

4.3.1.2. Taux d'ESS et d'acidité en fonction de l'âge physiologique

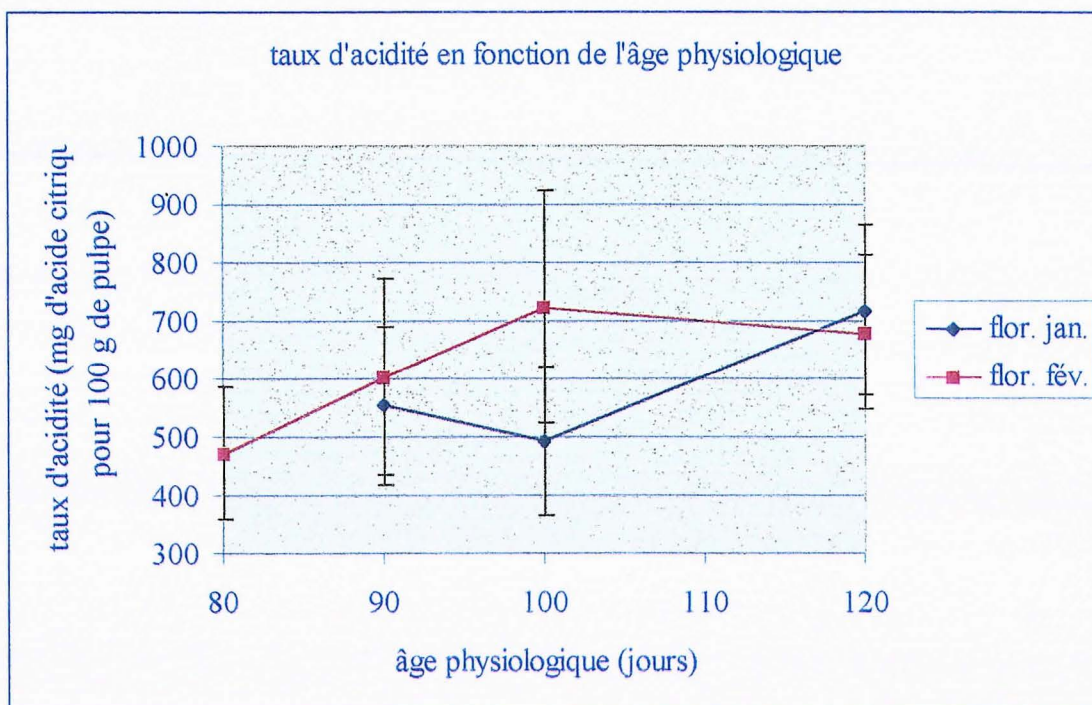
Les taux d'ESS et d'acidité sont mesurés après maturation sur des fruits d'âge physiologique différents.

Il ne s'agit pas d'une évolution au cours du temps comme peuvent l'être interprétées les mesures réalisées à la récolte. En effet, tous ces fruits récoltés à différents âges ont été laissés en maturation pour atteindre un même stade qui les rend aptes à la consommation. Cependant, des différences dans leurs caractéristiques physico-chimiques après maturation sont ici mises en évidence.



L'observation de la courbe montre que l'ESS augmente de manière significative avec l'âge physiologique.

Par ailleurs, on peut affirmer que les fruits issus des floraisons de janvier possèdent un degré Brix inférieur à ceux issus des floraisons de février.

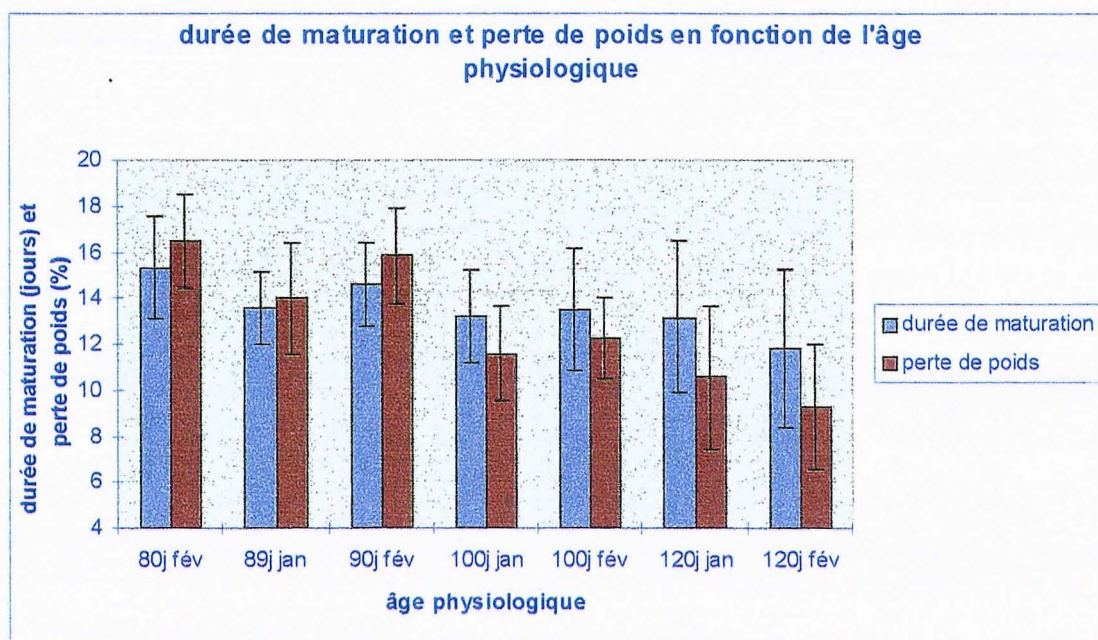


De même, le taux d'acidité augmente avec l'âge et les fruits de février atteignent plus rapidement le maximum.

Comme l'ont montré de nombreux auteurs (par exemple, de Laroussilhe, 1979), l'association d'un taux d'ESS élevé avec une forte acidité confère au fruit de **bonnes qualités gustatives**. En effet, l'acidité permet la révélation des arômes. Et même si le taux d'acidité est très élevé, il n'est pas ressenti comme étant désagréable tant qu'il est accompagné d'un taux de sucre assez important.

Enfin, **les fruits issus des floraisons de février ont des taux de sucre et d'acidité plus élevés que ceux de janvier**, en particulier à 100 jours. A 120 jours, le phénomène s'estompe. Ceci laisse à penser que les fruits de février avaient un degré de maturité à la récolte supérieur à ceux de janvier.

4.3.1.3. Durée de maturation, perte de poids. Flétrissement des fruits



Les analyses statistiques menées en 1998 ont montré, qu'il existe une **corrélation** entre la **durée de maturation**, la **perte de poids** et l'**âge physiologique** du fruit. Cet histogramme vient confirmer cela.

Plus l'âge du fruit à la récolte est élevé, moins il met de temps pour devenir consommable et moins il perd de poids durant la phase de maturation.

Par ailleurs, les observations de fruits ont montré que le phénomène de flétrissement est directement lié à l'âge du fruit (cf. tableaux 3,4,5 et 6) et par conséquent à la durée de maturation et à la perte de poids.

Le flétrissement des fruits est donc dû pour une grande part à la perte en eau qui a lieu durant la phase de maturation. Il semblerait donc que les flétrissements observés en 1998 sur les mangues de Lataha aient été plutôt occasionnés par l'immaturité des mangues récoltées (âge physiologique le plus élevé à 100 jours pour Kent) que par le manque de pluie.

4.3.1.4. Bilan des mesures et analyses réalisées après maturation

Les analyses des mangues réalisées après maturation nous permettent de caractériser la qualité des fruits après leur maturation.

Un fruit évoluant normalement verra les pigments verts de sa peau disparaître (cf. 4.3.1.1.) et présentera des taux d'acidité supérieurs à 700 mg d'acide citrique pour 100g de pulpe et des taux d'ESS supérieurs à 18°Brix (cf 4.3.1.2.). Enfin, le temps écoulé entre la récolte et le moment où le fruit est consommable doit être suffisamment important pour permettre son exportation par bateau.

L'ensemble de ces caractéristiques, complétées avec des dégustations des fruits et des observations visuelles concernant leur aspect, a permis de déterminer un âge physiologique correspondant au degré de maturité nécessaire pour l'exportation.

En ce qui concerne **Kent**, les âges physiologiques choisis ont permis d'atteindre la **maturité idéale pour l'exportation, que l'on peut estimer à 110 - 120 jours.**

Par ailleurs, on observe des différences entre les fruits des floraisons de janvier et ceux de février. En particulier,

Ces différences de degré de maturité entre fruits issus des floraisons de janvier et ceux de février peuvent s'expliquer par le fait que ces derniers ont reçu au cours de leur développement de plus grandes quantités de chaleur. En effet, à partir de début février, les moyennes journalières des températures augmentent, l'harmattan disparaissant à cette période.

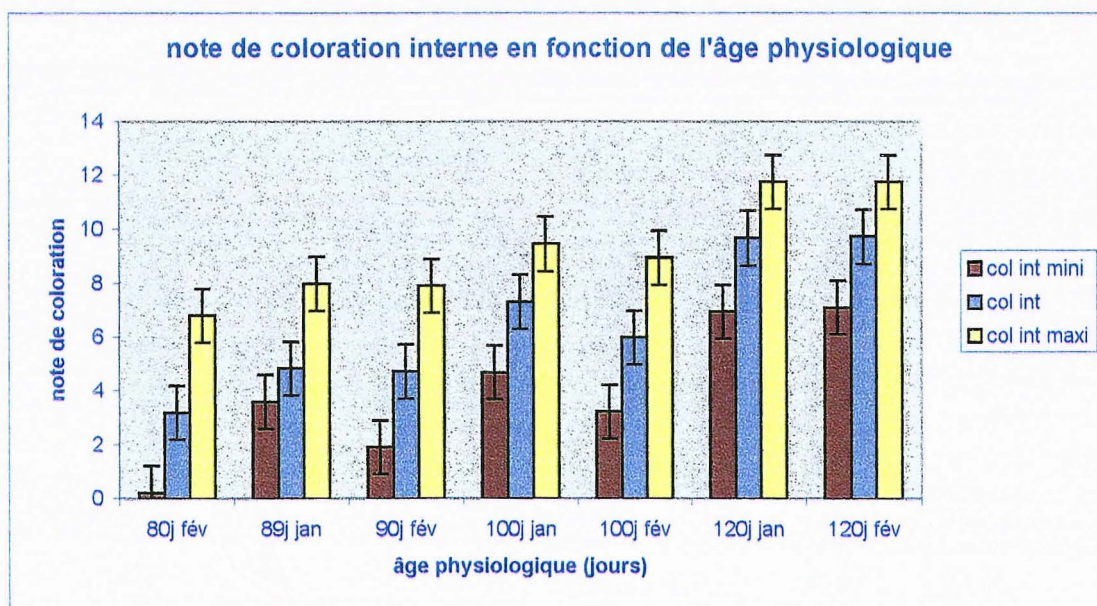
4.3.2. Relations entre quelques paramètres physico-chimiques et le degré de maturité des mangues à la récolte

L'analyse statistique effectuée au service Biométrie et Informatique a été réalisée uniquement sur les fruits analysés à la récolte. Les résultats obtenus sont disponibles en annexe 2 et 3.

4.3.2.1. Coloration interne des mangues

Les résultats acquis à Lataha par GUEPRATTE en 1998 montraient que les notes attribuées à la couleur interne des fruits récoltés étaient très liées à l'âge du fruit.

Voici les données recueillies cette année sur la variété Kent :
(coul. int. = note synthétique de couleur)

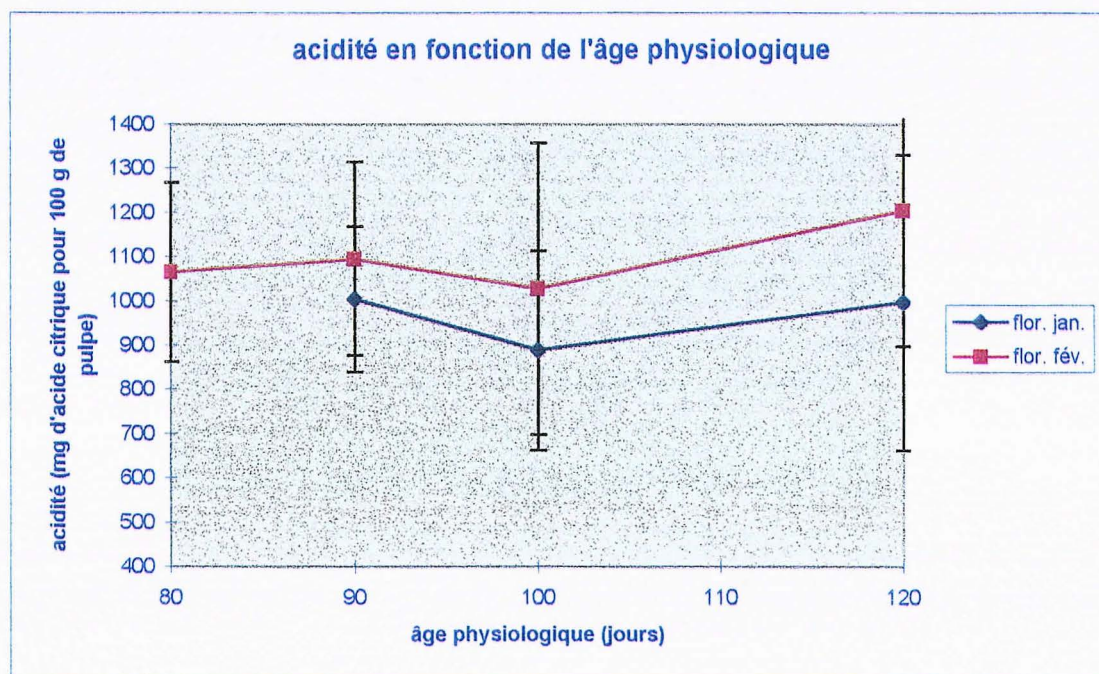
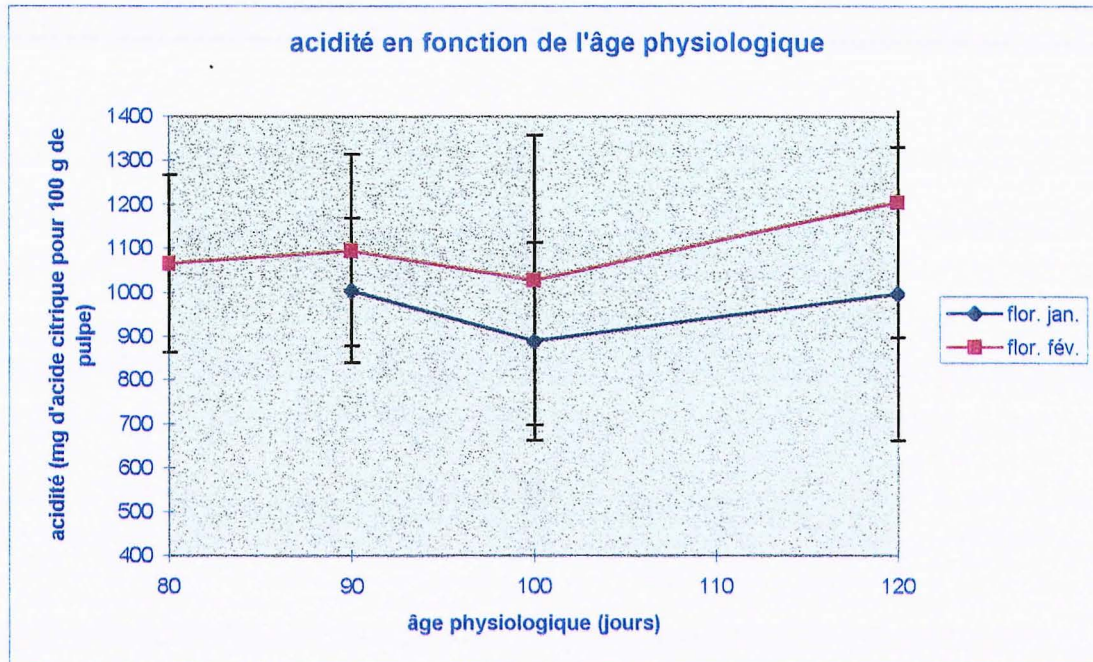


Cet histogramme montre clairement que la couleur interne est un bon indicateur du degré de maturité des mangues, ce qui est confirmé par l'analyse statistique.

La moyenne des notes minimales de couleur interne s'avère nettement plus faible pour les fruits issus des floraisons de février et d'âge 90 et 100 jours.

Le coefficient de variation résiduel (CV), exprimé en % de la moyenne, est de 25 % (floraison de janvier) et 31 % (février) en ce qui concerne le paramètre couleur interne. La précision sur la mesure est donc faible. Cependant, les valeurs du coefficient de détermination R^2 du modèle montrent qu'il existe une corrélation entre note de couleur interne et âge physiologique. Quant au test de Student-Newman-Keuls (SNK), il permet d'affirmer que les lots de mangues d'âge différent sont tous distincts en ce qui concerne ce critère.

4.3.2.2. Taux d'ESS et d'acidité. Mesures de pH



On observe de nouveau une augmentation du degré Brix lorsque l'âge physiologique du fruit augmente.

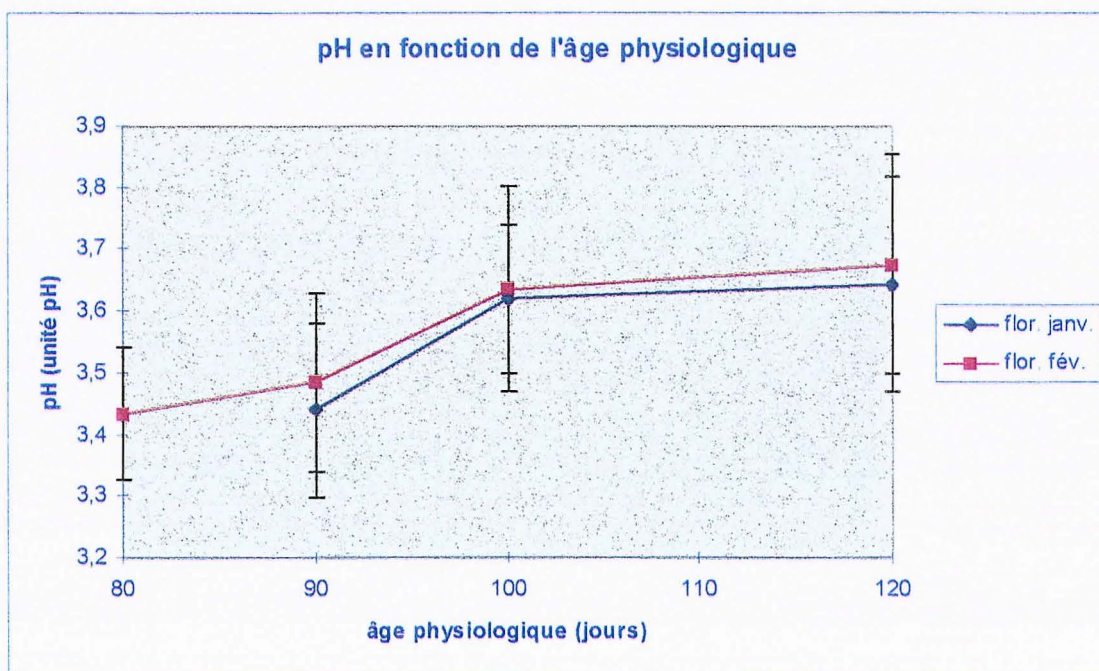
De plus, les fruits de février présentent des valeurs d'ESS supérieures à ceux de janvier.

Les mesures d'ESS présentent un CV de l'ordre de 15%. La précision sur la mesure est correcte. Cependant, la valeur de R^2 est faible pour janvier avec 0,244. Les fruits de février ont des valeurs d'ESS mieux reliées à leur âge ($R^2 = 0,552$).

Le test de SNK permet de montrer que les lots 89 jours jan. et 100 jours fév. Ne présentent pas des moyennes de taux d'ESS significativement différentes au seuil de 5% (même chose pour 80 jours fév. et 90 jours fév. ainsi que pour 100 jours fév. et 120 jours fév.).

En ce qui concerne le taux d'acidité, aucune augmentation avec l'âge du fruit n'est visible. On distingue cependant des différences entre les fruits de janvier et ceux de février avec un taux d'acidité toujours plus élevé pour ces derniers.

Quant aux mesures d'acidité, l'analyse de variance présente un R^2 très faible (0,047 et 0,058) et le test de Fisher montre qu'il n'y a rien de significatif.



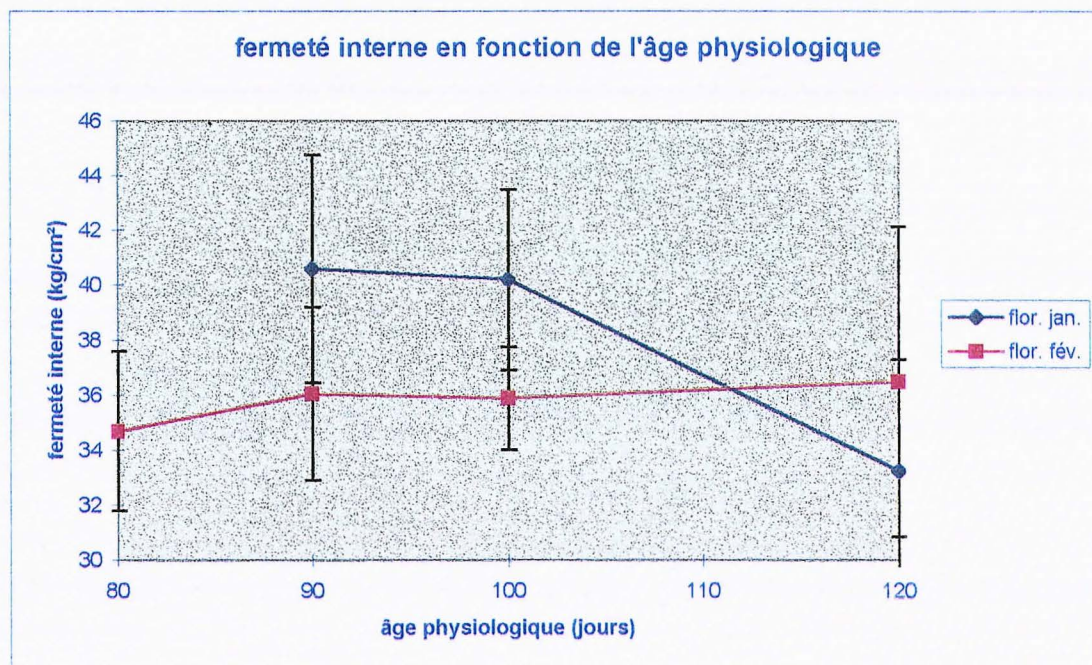
Le pH augmente avec l'âge physiologique du fruit. L'analyse de variance montre cette tendance.

Taux d'acidité et pH sont évidemment deux valeurs liées même si un effet tampon de la pulpe peut intervenir dans la mesure d'acidité. Ceci peut expliquer le fait que le taux d'acidité évolue peu avec l'âge contrairement au pH.

En revanche, il n'est pas possible dans ce cas de distinguer de variations significatives de la mesure, selon que les fruits aient commencé leur développement en janvier ou bien en février.

Par ailleurs, le test SNK montre qu'il n'est pas possible de distinguer chaque lot l'un de l'autre autrement que 2 à 2 (comme pour le taux d'ESS).

4.3.2.3. Evolution des fermetés interne et externe



Les mesures de fermeté externe à la récolte n'offrent que peu d'intérêt pour la présente étude. On les utilise de préférence pour l'évaluation de l'avancement de la maturation lors du stockage de fruits.

Quant aux mesures de fermeté interne, on peut dire qu'elles représentent un critère significatif de mesure du degré de maturité, selon de nombreux auteurs. Cependant, il apparaît que le matériel utilisé à la station de Lataha ne permette pas de le prouver. En effet, le pénétromètre à arbalète doit de préférence être utilisé afin de mesurer un point de rupture. C'est par exemple le cas lorsqu'on mesure la fermeté externe. En revanche, un texturomètre serait mieux adapté pour des mesures de fermeté interne : on ne mesure pas dans ce cas de rupture mais l'intégration des variations des forces nécessaires pour pénétrer la pulpe.

4.3.4. Bilan des mesures et analyses réalisées à la récolte

Les analyses menées sur les fruits à la récolte ont permis de montrer que :

- la coloration interne du fruit est directement liée à son âge physiologique
- le taux d'ESS ainsi que le pH augmente significativement avec l'âge ce qui n'est pas le cas pour le taux d'acidité, ni les valeurs de fermeté.
- **l'établissement éventuel d'une valeur seuil ne semble être possible qu'avec le degré Brix et une note de couleur interne.**

Estimation d'une valeur seuil de degré Brix pour Kent : 9°Brix

Estimation d'une valeur seuil de note minimale de couleur interne pour Kent : 6

Il n'a pas été possible de mettre en évidence de nettes différences entre fruits de janvier et fruits de février.

Les paramètres hauteur et orientation du fruit sur l'arbre n'ont pu être mis en relation avec d'autres critères.

Dans l'ensemble, l'analyse de variance montre que les coefficients de corrélation R^2 ne sont pas très élevés mais ils permettent de confirmer les tendances observées sur les graphiques.

Le test SNK montre que chaque lot de fruit présente des moyennes de note de couleur interne significativement distinctes au seuil de 5%. Ce critère est le mieux corrélé à l'âge physiologique de la mangue.

4.3.3. Mise en évidence d'une corrélation entre sommes de température et degré de maturité

La matrice de corrélation réalisée sur les données de la variété Kent montre que les indices de température sont très fortement liés aux âges physiologiques des mangues (valeur de $R > 0,99$).

L'ESS, le pH ou bien la note de couleur interne ne sont pas mieux corrélés avec les indices de températures qu'avec les âges (valeurs de R^2 presque identiques).

Cependant, l'observation des graphiques représentant ces critères en fonction soit de l'âge, soit des indices de température, mettent en évidence des différences : on observe en effet des translations horizontales des courbes selon les dates de floraison.

Ceci s'explique par le fait que les fruits de février ont reçu des sommes de températures supérieures à ceux de janvier comme le montre le graphique « sommes de températures en fonction de l'âge et du mois de floraison » (cf. annexe).

4.4. ETUDE DES CRITERES D'APRECIATION DE LA MATURITE DES MANGUES (variété Keitt, Amélie et Galerie)

Ce chapitre a pour objet de présenter les observations qui ont été menées sur les trois autres variétés de manguier étudiées. Nous disposons des mêmes données que pour la variété Kent.

L'ensemble des graphiques relatifs à ces études sont présentés en annexe.

4.4.1. Caractérisation des fruits après maturation

4.4.1.1. Appréciation de l'âge physiologique idéal pour l'exportation

Période de floraison	Age physiologique	Degré de maturité
Janvier – Février	91 jours	Immature avec flétrissement des fruits
Janvier – Février	102 jours	Immature avec flétrissement des fruits
Janvier – Février	112 jours	Immature avec parfois flétrissement
Janvier – Février	132 jours	Limite de la maturité pour l'export

Tableau 4 : lots récoltés pour l'étude de la variété Keitt

La variété **Keitt** est une variété tardive. Le développement de son fruit s'effectue plus lentement. Ainsi, à 132 jours, les fruits demeurent limites pour l'exportation. On peut estimer l'âge idéal pour l'exportation par bateau à environ **140 jours**.

Période de floraison	Age physiologique	Degré de maturité
Décembre	111 jours	Surmaturité
Décembre	120 jours	Surmaturité
Janvier – Février	89 jours	Maturité pour l'exportation
Janvier – Février	100 jours	Maturité pour l'exportation
Janvier – Février	111 jours	Surmaturité

Tableau 5 : lots récoltés pour l'étude de la variété Amélie

Période de floraison	Age physiologique	Degré de maturité
Décembre	101 jours	Maturité pour l'exportation
Décembre	111 jours	Surmaturité
Décembre	118 jours	Surmaturité
Janvier – Février	80 jours	Immature avec flétrissement des fruits
Janvier – Février	91 jours	Limite de la maturité export
Janvier – Février	101 jours	Maturité pour l'exportation
Janvier – Février	111 jours	Surmaturité

Tableau 6 : lots récoltés pour l'étude de la variété Galerie

Les variétés **Amélie** et **Galerie** sont beaucoup plus précoces que les variétés Kent et Keitt et le temps de développement de leurs fruits est beaucoup plus réduit. Ainsi, l'âge physiologique idéal semble avoisiner les **100 jours**.

4.4.1.2. Bilan des mesures et analyses réalisées à la récolte

Concernant les mesures de couleur, d'ESS, d'acidité, de pH et de perte de poids, on peut aboutir à des conclusions tout à fait similaires à celles données pour Kent.

Finalement, on peut estimer que les âges physiologiques corrects pour l'exportation par bateau avoisinent les valeurs suivantes :

Variété	Age export idéal
Kent	110 – 120 jours
Keitt	140 jours
Amélie	100 jours
Galerie	100 jours

Tableau 7 : âge physiologique optimal pour l'exportation

4.4.2. Relations entre quelques paramètres physico-chimiques et le degré de maturité des mangues à la récolte

4.4.2.1. Coloration interne des mangues

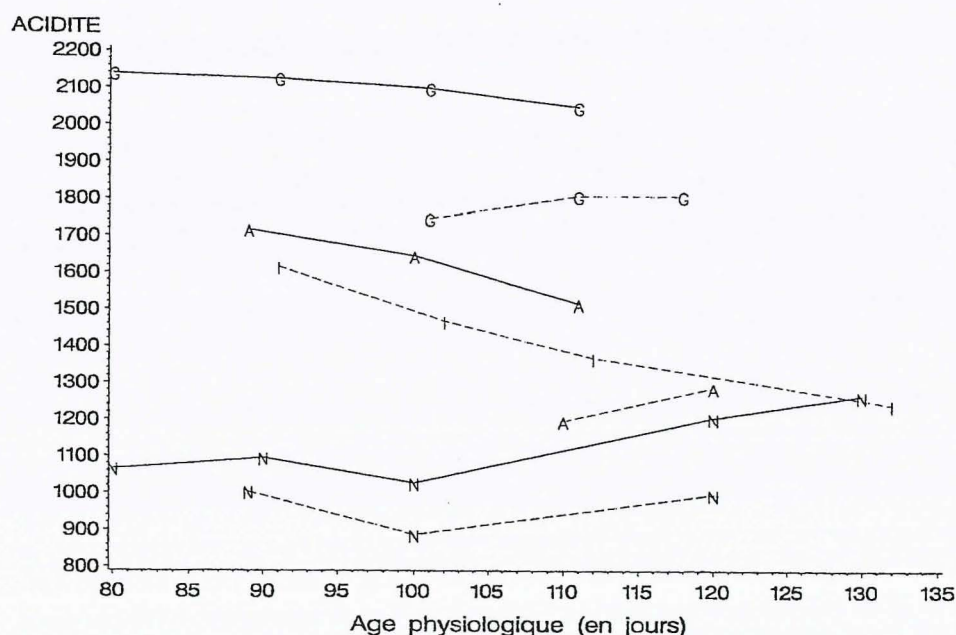
La coloration interne est bien corrélée avec les âges physiologiques des mangues. L'analyse de variance le montre de nouveau avec des coefficients de détermination R supérieurs à 0,7.

Ceci vient confirmer les résultats acquis sur la variété Kent.

4.4.2.2. Taux d'ESS et d'acidité. Mesures de pH

De même que pour Kent, on observe toujours la même tendance, à savoir que le taux d'ESS augmente avec l'âge physiologique.

Le CV résiduel est du même ordre que pour Kent (autour de 15 – 20%). Cependant, les coefficients de détermination étant faibles, la corrélation entre ESS et âge n'est pas mise en évidence clairement.



G : Galerie / A : Amélie / I : Keitt / N : Kent

La courbe représentant le taux d'acidité pour chaque variété et chaque floraison en fonction des âges physiologiques montrent clairement que :

- les taux d'acidité des fruits de février sont supérieurs à ceux de janvier
- on peut classer les variétés selon leur taux d'acidité (TA)

TA Galerie > TA Amélie > TA Keitt > TA Kent

En ce qui concerne le pH, l'analyse de variance montre des R^2 de l'ordre de 0,3. Le test SNK permet de séparer les lots de fruits, en particulier pour Galerie de février (4 lots distincts 1 à 1).

La précision sur la mesure de pH est toujours bonne (CV de l'ordre de 5%).

4.4.2.3. Evolution des fermetés interne et externe

Comme pour Kent, il est difficile de mettre en évidence une corrélation entre fermeté et âge du fruit. L'analyse de variance vient le confirmer avec des coefficients R toujours inférieurs à 0,35 (excepté pour la fermeté interne sur Galerie avec $R = 0,6$)

4.4.3. Bilan des mesures et analyses réalisées à la récolte

De manière générale, on peut dire que l'on observe les mêmes tendances sur les variétés Keitt, Amélie et Galerie que sur Kent.

Cependant, ces analyses permettent de montrer que :

- les taux d'acidité varient nettement entre les variétés et les dates de floraison

TA Galerie > TA Amélie > TA Keitt > TA Kent

TA fruits février > TA fruits janvier

→ Comparison entre les variétés Amélie et Galerie :

Galerie est un cultivar, en cours d'expérimentation, qui provient de la variété Amélie. Dans les 2 cas, il s'agit de variétés précoces. En effet, la variété Amélie est exportée dès début mars de Côte d'Ivoire alors que pour Kent, il faut attendre mi-avril et mi-mai pour Keitt.

La question principale est de savoir si la variété Galerie est plus précoce ou non qu'Amélie.

Les études menées sur la floraison et la fructification du manguier tendent à montrer que Galerie est plus précoce. En effet, il faut rappeler que les pourcentages d'inflorescences ayant fructifié sont beaucoup plus élevés chez Galerie au début du mois de décembre.

Cependant, les graphiques présentés en annexe ne permettent pas de confirmer ces données.

4.4.4. Mise en évidence d'une corrélation entre sommes de température et degré de maturité

Nous pouvons tirer les mêmes conclusions que pour Kent, d'après les résultats acquis sur Keitt, Amélie et Galerie.

4.5. PERSPECTIVES

Etude de la floraison et de la fructification :

De manière générale, on peut dire qu'il est préférable de se limiter à 2 ou 3 variétés de manguiers, ce qui permettrait de concentrer les efforts de recherche.

Par ailleurs, il faut couvrir uniquement les périodes de floraison dont sont issues les mangues exportées. En effet, les floraisons de février sur Amélie donnent des fruits pas toujours exploitables et les résultats obtenus ne sont pas les plus intéressants.

Les dates de marquages doivent être choisies avec soin. En effet, cette année, il est arrivé que dans une même journée des marquages soient réalisés sur 3 variétés différentes ce qui peut conduire à des difficultés dans l'interprétation des résultats.

Les dates de marquage doivent permettre de comparer les différentes périodes de floraison entre elles et doivent représenter de manière homogène la dite période. Ainsi, il serait préférable de **marquer des inflorescences d'une même variété sur une période de 2 ou 3 jours**. Par ailleurs, il serait judicieux de ne pas changer de parcelle et **d'homogénéiser au mieux les marquages** (choix des arbres, position sur les arbres...), sauf si l'on décide de mener une étude spécifiques sur ces facteurs.

Enfin, il aurait été intéressant de **disposer d'informations supplémentaires concernant les inflorescences marquées, comme la parcelle, l'arbre, l'orientation, la hauteur sur l'arbre...** C'est pourquoi on peut envisager à l'avenir de noter ces informations simultanément au marquage.

Etude des facteurs pédoclimatiques :

L'étude des facteurs environnementaux initialement prévue n'est pas possible à l'heure actuelle. Le principal problème vient de la technique de marquage :

- nombre insuffisants de fruits marqués disponibles, ce qui conduit à des lots d'effectif trop restreint pour les subdiviser de nouveau avec des différences d'orientation, de parcelle et de hauteur de fruit.
- marquages réalisés sur une même partie de parcelle, à une hauteur qui ne dépasse pas 2 mètres.

Cette étude doit faire l'objet d'une expérience distincte de l'étude de l'aptitude à la maturation. Les facteurs environnementaux seraient les seuls pris en compte et les lots de fruits auraient alors un effectif suffisants pour un traitement statistique des résultats.

Etude de l'aptitude à la maturation des mangues :

En vue de la poursuite de ce travail, il est nécessaire de :

- **recibler les âges physiologiques étudiés** autour de l'âge supposé idéal pour l'exportation en bateau :

≈ 110 - 120 jours pour Kent

≈ 140 jours pour Keitt

≈ 100 jours pour Amélie

≈ 100 jours pour Galerie

- **définir plus rigoureusement un protocole d'analyse des fruits en utilisant un matériel adapté** (nuancier pour mangue, pénétromètre performant...)

- **établir si possible des valeurs seuils** à partir desquelles la mangue peut poursuivre pleinement mais pas trop rapidement son processus de maturation.

Ces valeurs seuils peuvent correspondre à :

- un âge physiologique
- une somme de température
- une note de couleur interne minimale
- une valeur d'ESS...

- envisager rapidement une application de ces recherches aussi bien chez les producteurs que dans les stations de conditionnement. Réajuster les objectifs des recherches en fonction des applications souhaitées.

CONCLUSION GENERALE

Les études réalisées sur la physiologie de la floraison et de la fructification du manguier ont permis de montrer que :

- il existe une incertitude d'environ 10 jours sur l'âge physiologique du fruit avec la méthode de marquage actuelle,
- une méthode de marquage basée non plus sur l'ouverture des fleurs mais sur une taille donnée de jeunes fruits est envisageable.

Par ailleurs, nous avons déterminé les âges physiologiques des quatre variétés étudiées correspondant à la maturité nécessaire pour leur exportation.

Les analyses ont montré que l'aptitude à une bonne maturation des mangues est particulièrement liée au taux d'ESS ainsi qu'à la couleur interne du fruit à la récolte. L'établissement de valeurs seuils semble possible pour ces critères. Pour Kent, nous avons estimé le taux d'ESS minimum à 9°Brix.

Il n'a pas été possible, par les analyses à la récolte, de mettre en évidence de nettes différences entre fruits issus des floraisons de janvier et ceux de février. En revanche, les analyses réalisées après maturation des mangues montrent que les mangues Kent de février avaient à la récolte un degré de maturité supérieur.

Il est à espérer que le développement de nouvelles technologies, comme l'imagerie par résonance magnétique, l'infrarouge, les mesures de transmittance de la lumière, puisse conduire à l'emploi d'une mesure non destructive directement corrélée à l'aptitude à la maturation de la mangue.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANONYME Mangues, normalisation internationale des fruits et légumes. *OCDE publications (Paris)*, 1993, ISBN 92 64 03893 0.

ANONYME Fiche technique : La protection des mangues après récolte. *Fruitrop*, 1994, n°3, p.18.

ANONYME Fiche technique : Protection de la mangue entreposée. *Fruitrop*, 1994, n°5, p.22.

BEZUIDENHOUT J. J. Indices to determine the maturity of mangoes for picking. *Source inconnue*, 1987.

CRISOSTO C.H. Stone fruit maturity indices : a descriptive review. *Postharvest News and Information, CAB International*, 1994, 5, n°6, p. 65N-68N.

GOGUEY T. Troisième symposium international sur manguier. Darwin, Australie, 25-29 septembre 1989. *Fruits*, 1990, 45, n°1, p. 61-64.

GOGUEY T. Approche architecturale des mécanismes de la croissance aérienne et de la floraison du manguier. *Thèse de doctorat : Physiologie, biologie des organismes et des populations, Montpellier 2*, 1995.

HULME A.C. The mango. In *The biochemistry of fruits and their products. Academic Press New-York*, 1971.

JACOBI K.K., WONG L.S., GILES J.E. Effect of fruit maturity on quality and physiology of high-humidity hot air-treated 'Kensington' mango (*Mangifera indica* Linn.). *Postharvest Biology and Technology, Elsevier Science B.V.*, 1995, n°5, p.149-159.

KOSIYACHINDA S., LEE S.K. Maturity indices for harvesting of mango. In *Mango : fruit developpement, postharvest physiology and marketing in Asean. MENDOZA D.B.Jr. & WILLS R.B.H. (Ed)*, 1984, ISBN 967 9932 04 4.

KOSTERMANS A.J.G.H., BOMPARD J.M. The mangoes. *Academic Press Ltd (London, England)*, 1993, ISBN 0 12 421920 9.

LABOREM E. G., REYES F.J., RANGEL L. Maduracion del mango previo almacenamiento a baja temperatura. *Fruits*, 1992, 47, n°3, p.419-423, ISSN 0248-1294.

LAROUSSILHE de F. Le manguier. *Techniques agricoles et productions tropicales, Maisonneuve & Larose (Paris)*, 1979, n°29.

LITZ R.E. (Ed) The mango : botany, production and uses. *CAB International (NY, USA)*, 1997, ISBN 0 85 199 127 0.

LOEILLET D. Dossier du mois : Bilan mangue, consommateur européen cherche mangue de qualité. *Fruitrop*, 1996, n°23, p. 8-14.

LOEILLET D. Dossier spécial : marché de la mangue. *Fruitrop*, 1998, n°44.

LYANNAZ J.P. Flower induction of mango trees. In Proceedings of papaya and mango seminar, Kingston, Jamaica, March 10-11 1993. *IICA - JEA - JADF*, 1993, ISSN 0 5345391.

MALEVSKI Y., GOMEZ BRITO L., PELEG M., SILBERG M. External color as maturity index of mango. *J. Foo. Sci.*, 1977, 42, n°5, p. 1316-1318.

MEDLICOTT A.P., SEMPLE A.J., THOMPSON A.J., BLACKBOURNE H.R., THOMPSON A.K. Measurement of colour changes in ripening bananas and mangoes by instrumental, chemical and visual assessments. *Trop. Agric. (Trinidad)*, 1992, 69, n°2.

PANTASTICO Er. B. Postharvest physiology, handling and utilizations of tropical and subtropical fruits and vegetables. *AVI, (Westport, USA)*, 1975, p. 41-50 et p. 56-65.

PANTASTICO Er. B., LAM P.F., KETSA S., YUNIARTI, KOSITTRAKUL M. Postharvest physiology and storage of mango. In Mango : fruit developpement, postharvest physiology and marketing in Asean. *MENDOZA D.B.Jr. & WILLS R.B.H. (Ed)*, 1984, ISBN 967 9932 04 4.

POFFLEY M. Mango management : flowering to market. *Agnote*, 1997, n°301, p. 1-8. ISSN 0157-8243.

PUTTARAJU T.B., REDDY T.V. Effect of precooling on the quality of mango (cv. 'Mallika'). *J. Food Sci. Technol.*, 1997, 34, n°1, p. 24-27.

QUINTANA E.G., NANTHACHAI P., HIRANPRADIT H., MENDOZA D.B. Jr, KESTA S. Growth and developpement of mango. In Mango : fruit developpement, postharvest physiology and marketing in Asean. *MENDOZA D.B.Jr. & WILLS R.B.H. (Ed)*, 1984, ISBN 967 9932 04 4.

VASQUEZ-SALINAS C., LAKSHMINARAYANA S. Compositional changes in mango fruit during ripening at different storage temperatures. *Journal of Food Science (USA)*, 1985, 50, n°6, P. 1646-1648.

VUILLAUME C. Vers une maîtrise de la floraison du manguier au Cameroun. Utilisation d'un régulateur de croissance : le Paclobutrazol. *Fruits*, 1991, 46, n°2, p.187-198, ISSN 0248-1294.

WILLS R., Mc GLASSON B., GRAHAM D., JOYCE D. Post harvest, 4th edition, an introduction to the physiology and handling of fruits, vegetables and ornamentals. *CAB International, UNSW Press (NY, USA)*, 1998, ISBN 0 86 840 560 4.

ANNEXES

Annexe 1 : description des variétés de manguiers étudiées

Annexe 2 : tableaux récapitulatifs des analyses de variance

Annexe 3 : matrices de corrélation

Annexe 5 : pourcentage d'inflorescences ayant fructifié

ANNEXE 1 : DESCRIPTION DES VARIETES DE MANGUIERS ETUDIEES (LAROUSSILLHE de, 1979)

« KENT » :

- *Origine* : semis de « Brooks » chez L.D. Kent à Miami, Floride, en 1932.
- *Arbre* : port dressé à étalé avec branches érigées peu ramifiées, arbre très vigoureux.
- *Fruit* : ovoïde, poids de 750 à 800 g, longueur de 112 à 140 mm, largeur 95 à 112 mm, épaisseur 86 à 93 mm; base arrondie; pédoncule assez épais inséré légèrement obliquement; épaule ventrale pleine; épaule dorsale arrondie, inclinée graduellement; apex arrondi; pas de bec; surface douce, fond jaune verdâtre coloré de rouge foncé; peau épaisse, résistante, se séparant facilement de la chair; chair jaune intense à jaune orange, de consistance moyenne, fondante, juteuse, sans fibres; saveur riche, douce, moyennement aromatique, très satisfaisante; qualité excellente; noyau environ 9 % du poids total du fruit; semence remplissant environ les $\frac{3}{4}$ de la coque.
- *Variété de fin de pleine saison.*

Cette variété donne régulièrement de bonnes récoltes, des fruits bien colorés et très attractifs, qualités gustatives excellentes, elle est parmi les meilleures à ce point de vue.

« KEITT » :

- *Origine* : semis de « Brooks » chez J.N. Keitt, Homestead, Floride, en 1939.
- *Arbre* : port très étalé avec de longues pousses.
- *Fruit* : ovale, poids de 450 à 680 g, longueur de 112 à 118 mm, largeur 86 à 100 mm, épaisseur 80 à 87 mm; base arrondie; pédoncule épais inséré légèrement en oblique; épaule ventrale pleine et arrondie; épaule dorsale tombant rapidement; apex arrondi obtus; pas de bec; surface douce, fond jaune orange coloré en rose carminé sur le côté au soleil, avec de nombreuses petites lenticelles jaune pâle à roux et une assez forte pruine lavande; peau épaisse, assez résistante, ne se séparant pas facilement de la chair; chair orange à jaune foncé, relativement ferme mais tendre et fondante, juteuse, avec un nombre important de fibres près de la base du noyau, mais fines et non gênantes; qualité bonne à très bonne; noyau de 7 à 8 % du poids total du fruit; amande remplissant environ la moitié de la coque.
- *Variété tardive.*

Les fruits ont une résistance bonne à moyenne à l'anthracnose, ils voyagent bien, sont attractifs et de très bonne qualité. La production est bonne et régulière; cueilli à demi-coloration, le fruit mûrit en dix jours.

« **AMELIE** » :

- *Origine* : Antilles françaises
- *Arbre* : ramassé en boule
- *Fruit* : forme arrondie, poids de 300 à 600 g, en moyenne 340 g ; peau vert orange ; chair orange foncé, molle, fondante, très bonne.
- *Variété de pleine saison. Variété précoce.*

Cette variété est cultivée principalement en Afrique de l'ouest.

« **GALERIE** » :

- *Origine* : cultivar en cours d'expérimentation, qui provient d'Amélie.
- *Arbre* : ramassé en boule.
- *Fruit* : forme arrondie ; poids des fruits plus élevés que ceux d'Amélie ; peau rouge ; chair orange foncé très bonne.

ANNEXE 2 : TABLEAUX RECAPITULATIFS DES ANALYSES DE VARIANCE

Une analyse de variance est effectuée pour chaque combinaison variété / floraison ; le facteur teste est l'âge physiologique des fruits (en jours après floraison).

1a) Analyses à la RECOLTE - Variété = AMÉLIE					
FLO		ESS (deg. Brix)	pH	Acidité (mg ac. cit /100g pulpe)	Coloration interne
Déc	moy. générale.	9.03	3.52	1246	12.9
	CV résiduel (%)	20 %	5 %	19 %	11 %
	R ²	0.004	0.221	0.036	0.078
	pr >F	0.7218 NS	0.0043 **	0.2735 NS	0.1037 NS
	moy. 110 j (16 f)	9.14	3.63 (a)	1197	12.5
	120 j (19 f)	8.93	3.43 (b)	1287	13.3
Fév	Moy. générale.	8.77	3.27	1651	10.6
	CV résiduel (%)	19 %	4 %	17 %	21 %
	R ²	0.519	0.384	0.056	0.380
	pr >F	0.0001 ***	0.0001 ***	0.3053 NS	0.0001 ***
	moy. 89 j (16 f)	6.84 (c)	3.15 (b)	1717	9.1 (b)
	100 j (21 f)	9.30 (b)	3.32 (a)	1646	10.5 (b)
	111 j (7 f)	11.56 (a)	3.37 (a)	1516	14.3 (a)

1b) Analyses à la RECOLTE - Variété = GALERIE					
FLO		ESS (deg. Brix)	pH	Acidité (mg ac. cit /100g pulpe)	Coloration interne
Déc	moy. générale.	9.56	3.06	1782	9.2
	CV résiduel (%)	15 %	5 %	17 %	32 %
	R ²	0.099	0.293	0.011	0.376
	pr >F	0.0279 *	0.0001 ***	0.6940 NS	0.0001 ***
	moy. 101 j (30)	10.09 (a)	2.98 (b)	1746	6.6 (b)
	111 j (22)	9.34 (ab)	3.19 (a)	1807	10.4 (a)
	118 j (17)	8.98 (b)	3.04 (b)	1806	11.7 (a)
Fév	Moy. générale.	7.54	2.90	2111	5.9
	CV résiduel (%)	17 %	3 %	11 %	33 %
	R ²	0.238	0.495	0.018	0.675
	pr >F	0.0001 ***	0.0001 ***	0.7054 NS	0.0001 ***
	moy. 80 j (26)	6.62 (b)	2.79 (d)	2139	2.5 (c)
	91 j (21)	7.51 (a)	2.90 (c)	2126	5.4 (b)
	101 j (21)	8.24 (a)	2.97 (b)	2099	9.0 (a)
	111 j (12)	8.37 (a)	3.04 (a)	2048	8.6 (a)

1c) Analyses à la RECOLTE - Variété = KEITT					
FLO		ESS (deg. Brix)	pH	Acidité (mg ac. cit /100g pulpe)	Coloration interne
Jan.	Moy. générale.	7.93	3.25	1444	5.1
Fév.	CV résiduel (%)	16 %	4 %	12 %	32 %
	R ²	0.511	0.252	0.378	0.333
	pr >F	0.0001 ***	0.0001 ***	0.0001 ***	0.0001 ***
	moy. 91 j (25)	6.54 (c)	3.17 (b)	1616 (a)	3.3 (b)
	102 j (26)	7.87 (b)	3.22 (b)	1469 (b)	5.5 (a)
	112 j (26)	7.81 (b)	3.30 (a)	1369 (b)	5.8 (a)
	132 j (15)	10.55 (a)	3.35 (a)	1242 (c)	6.3 (a)

1d) Analyses à la RECOLTE - Variété = KENT					
FLO		ESS (deg. Brix)	pH	Acidité (mg ac. cit /100g pulpe)	Coloration interne
Jan.	moy. générale.	8.27	3.56	963	7.3
	CV résiduel (%)	16 %	4 %	26 %	25 %
	R ²	0.244	0.304	0.047	0.552
	pr >F	0.0001 ***	0.0001 ***	0.1692 NS	0.0001 ***
	moy. 89 j (28)	7.87 (b)	3.44 (b)	1004	4.9 (c)
	100 j (26)	7.69 (b)	3.62 (a)	888	7.5 (b)
	120 j (23)	9.40 (a)	3.64 (a)	997	9.8 (a)
Fév	Moy. générale.	8.10	3.55	1100	5.9
	CV résiduel (%)	13 %	4 %	24 %	31 %
	R ²	0.552	0.326	0.058	0.675
	pr >F	0.0001 ***	0.0001 ***	0.1346 NS	0.0001
	moy. 80 j (27)	6.77 (b)	3.43 (b)	1066	3.2 (d)
	90 j (24)	7.27 (b)	3.49 (b)	1096	4.7 (c)
	100 j (21)	9.28 (a)	3.64 (a)	1028	6.0 (b)
	120 j (24)	9.41 (a)	3.68 (a)	1205	9.8 (a)

Pour chacune des analyses, les paramètres suivants sont donnés :

Moyenne générale de la variable

Coefficient de variation résiduel (CV) exprimé en % de la moyenne

Coefficient de détermination R² du modèle

Test de Fisher : probabilité (entre 0 et 1) de la valeur observée de F

(NS: non significatif; *: significatif au seuil de 5%, **: de 1%, ***: de 1%)

puis :

moyenne de la variable pour chaque âge physiologique

Les chiffres indiqués entre parenthèses après les âges correspondent au nombre minimum de fruits pris en compte dans l'analyse (nombre éventuellement différent selon les variables).

Dans le cas où le test de Fisher est significatif, le test de comparaison multiple de Newman-Keuls a été effectué : les moyennes suivies d'une même lettre entre parenthèses ne sont pas significativement différentes (au seuil de 5%) .

ANNEXE 3 : MATRICES DE CORRELATION

----- VARIETE=KENT ----- ANALYSES à la RECOLTE -----

Correlation Analysis

9 'VAR' Variables: AGE_PHY IND_TEMP FERM_EXT FERM_INT PDSREC ESS PH ACIDITE C_INTREC

Pearson Correlation Coefficients / Prob > |R| under Ho: Rho=0 / Number of Observations

	AGE_PHY	IND_TEMP	FERM_EXT	FERM_INT	PDSREC	ESS	PH	ACIDITE	C_INTREC
AGE_PHY	1.00000 0.0 186	0.99474 0.0001 186	-0.34356 0.0001 186	-0.13386 0.0685 186	0.47316 0.0001 186	0.53602 0.0001 183	0.40762 0.0001 183	0.14171 0.0557 183	0.78827 0.0001 186
IND_TEMP	0.99474 0.0001 186	1.00000 0.0 186	-0.34992 0.0001 186	-0.15594 0.0336 186	0.48554 0.0001 186	0.54892 0.0001 183	0.40404 0.0001 183	0.17354 0.0188 183	0.77492 0.0001 186
FERM_EXT	-0.34356 0.0001 186	-0.34992 0.0001 186	1.00000 0.0 186	0.52101 0.0001 186	-0.13103 0.0746 186	-0.22255 0.0025 183	-0.03515 0.6366 183	-0.17485 0.0179 183	-0.26082 0.0003 186
FERM_INT	-0.13386 0.0685 186	-0.15594 0.0336 186	0.52101 0.0001 186	1.00000 0.0 186	-0.07131 0.3334 186	-0.15141 0.0408 183	0.18394 0.0127 183	-0.44571 0.0001 183	-0.26271 0.0003 186
PDSREC	0.47316 0.0001 186	0.48554 0.0001 186	-0.13103 0.0746 186	-0.07131 0.3334 186	1.00000 0.0 186	0.41710 0.0001 183	0.09539 0.1390 183	0.13349 0.0716 183	0.47140 0.0001 186
ESS	0.53602 0.0001 183	0.54892 0.0001 183	-0.22255 0.0025 183	-0.15141 0.0408 183	0.41710 0.0001 183	1.00000 0.0 183	0.24534 0.0008 183	0.10632 0.1520 183	0.46720 0.0001 183
PH	0.40762 0.0001 183	0.40404 0.0001 183	-0.03515 0.6366 183	0.18394 0.0127 183	0.09539 0.1390 183	1.00000 0.0 183	-0.54029 0.0001 183	0.38841 0.0001 183	0.14985 0.0429 183
ACIDITE	0.14171 0.0557 183	0.17354 0.0188 183	-0.17485 0.0179 183	-0.44571 0.0001 183	0.13349 0.0716 183	-0.54029 0.0001 183	1.00000 0.0 183	0.14985 0.0429 183	0.14985 0.0429 183
C_INTREC	0.78827 0.0001 186	0.77492 0.0001 186	-0.26082 0.0003 186	-0.26271 0.0003 186	0.47140 0.0001 186	0.46720 0.0001 183	0.38841 0.0001 183	0.14985 0.0429 183	1.00000 0.0 186

Correlation Analysis

9 'VAR' Variables: AGE_PHY IND_TEMP FERM_EXT FERM_INT PDSREC ESS PH ACIDITE C_INTREC

Pearson Correlation Coefficients / Prob > |R| under Ho: Rho=0 / Number of Observations

	AGE_PHY	IND_TEMP	FERM_EXT	FERM_INT	PDSREC	ESS	PH	ACIDITE	C_INTREC
AGE_PHY	1.00000 0.0 94	0.98690 0.0001 94	0.34715 0.0006 94	0.05233 0.6164 94	0.13104 0.2081 94	0.67964 0.0001 92	0.48630 0.0001 92	-0.60268 0.0001 92	0.48806 0.0001 94
IND_TEMP	0.98690 0.0001 94	1.00000 0.0 94	0.39473 0.0001 94	0.13294 0.2015 94	0.17436 0.0928 94	0.71045 0.0001 92	0.53623 0.0001 92	-0.59928 0.0001 92	0.43803 0.0001 94
FERM_EXT	0.34715 0.0006 94	0.39473 0.0001 94	1.00000 0.0 94	0.71629 0.0001 94	0.03363 0.7476 94	0.38409 0.0002 92	0.46288 0.0001 92	-0.39751 0.0001 92	0.02893 0.7819 94
FERM_INT	0.05233 0.6164 94	0.13294 0.2015 94	0.71629 0.0001 94	1.00000 0.0 94	-0.01330 0.8988 94	0.21686 0.0379 92	0.44854 0.0001 92	-0.23703 0.0229 92	-0.22997 0.0258 94
PDSREC	0.13104 0.2081 94	0.17436 0.0928 94	0.03363 0.7476 94	1.00000 0.0 94	0.27745 0.0074 92	0.27745 0.0074 92	0.00146 0.9890 92	-0.03042 0.7734 92	0.29067 0.0045 94
ESS	0.67964 0.0001 92	0.71045 0.0001 92	0.38409 0.0002 92	0.21686 0.0379 92	0.27745 0.0074 92	1.00000 0.0 92	0.38239 0.0002 92	-0.30415 0.0032 92	0.29165 0.0048 92
PH	0.48630 0.0001 92	0.53623 0.0001 92	0.46288 0.0001 92	0.44854 0.0001 92	0.00146 0.9890 92	0.38239 0.0002 92	1.00000 0.0 92	-0.61703 0.0001 92	0.18750 0.0735 92
ACIDITE	-0.60268 0.0001 92	-0.59928 0.0001 92	-0.39751 0.0001 92	-0.23703 0.0229 92	-0.03042 0.7734 92	-0.30415 0.0032 92	-0.61703 0.0001 92	1.00000 0.0 92	-0.33775 0.0010 92
C_INTREC	0.48806 0.0001 94	0.43803 0.0001 94	0.02893 0.7819 94	-0.22997 0.0258 94	0.29067 0.0045 94	0.29165 0.0048 92	0.18750 0.0735 92	-0.33775 0.0010 92	1.00000 0.0 94

Correlation Analysis

9 'VAR' Variables: AGE_PHY IND_TEMP FERM_EXT FERM_INT PDSREC ESS PH ACIDITE C_INTREC

Pearson Correlation Coefficients / Prob > |R| under Ho: Rho=0 / Number of Observations

	AGE_PHY	IND_TEMP	FERM_EXT	FERM_INT	PDSREC	ESS	PH	ACIDITE	C_INTREC
AGE_PHY	1.00000 0.0 156	0.90245 0.0001 156	-0.18236 0.0336 136	-0.60654 0.0001 136	0.06348 0.4311 156	0.47388 0.0001 152	0.63733 0.0001 149	-0.36374 0.0001 152	0.74942 0.0001 156
IND_TEMP	0.90245 0.0001 156	1.00000 0.0 156	-0.03325 0.7008 136	-0.53531 0.0001 136	0.17224 0.0315 156	0.38503 0.0001 152	0.57984 0.0001 149	-0.19668 0.0152 152	0.70054 0.0001 156
FERM_EXT	-0.18236 0.0336 136	-0.03325 0.7008 136	1.00000 0.0 136	0.33472 0.0001 136	0.13395 0.1200 136	-0.18199 0.0360 133	-0.34522 0.0001 132	0.36901 0.0001 133	-0.18700 0.0293 136
FERM_INT	-0.60654 0.0001 136	-0.53531 0.0001 136	0.33472 0.0001 136	1.00000 0.0 136	-0.07070 0.4134 136	-0.59783 0.0001 133	-0.55174 0.0001 132	0.40012 0.0001 133	-0.67242 0.0001 136
PDSREC	0.06348 0.4311 156	0.17224 0.0315 156	0.13395 0.1200 136	-0.07070 0.4134 136	1.00000 0.0 156	-0.17158 0.0346 152	0.05161 0.5319 149	0.00999 0.9028 152	0.21150 0.0080 156
ESS	0.47388 0.0001 152	0.38503 0.0001 152	-0.18199 0.0360 133	-0.59783 0.0001 133	-0.17158 0.0346 152	1.00000 0.0 152	0.45715 0.0001 149	-0.39506 0.0001 152	0.46267 0.0001 152
PH	0.63733 0.0001 149	0.57984 0.0001 149	-0.34522 0.0001 132	-0.55174 0.0001 132	0.05161 0.5319 149	0.45715 0.0001 149	1.00000 0.0 149	-0.60497 0.0001 149	0.75217 0.0001 149
ACIDITE	-0.36374 0.0001 152	-0.19668 0.0152 152	0.36901 0.0001 133	0.40012 0.0001 133	0.00999 0.9028 152	-0.39506 0.0001 152	-0.60497 0.0001 149	1.00000 0.0 152	-0.48023 0.0001 152
C_INTREC	0.74942 0.0001 156	0.70054 0.0001 156	-0.18700 0.0293 136	-0.67242 0.0001 136	0.21150 0.0080 156	0.46267 0.0001 152	0.75217 0.0001 149	-0.48023 0.0001 152	1.00000 0.0 156

Correlation Analysis

9 'VAR' Variables: AGE_PHY IND_TEMP FERM_EXT FERM_INT PDSREC ESS PH ACIDITE C_INTREC

Pearson Correlation Coefficients / Prob > |R| under Ho: Rho=0 / Number of Observations

	AGE_PHY	IND_TEMP	FERM_EXT	FERM_INT	PDSREC	ESS	PH	ACIDITE	C_INTREC
AGE_PHY	1.00000 0.0 79	0.82335 0.0001 79	-0.32261 0.0069 69	-0.27436 0.0225 69	0.03780 0.7408 79	0.34764 0.0017 79	0.52490 0.0001 79	-0.53482 0.0001 79	0.63726 0.0001 79
IND_TEMP	0.82335 0.0001 79	1.00000 0.0 79	-0.28486 0.0177 69	0.02650 0.8289 69	0.25839 0.0215 79	0.57538 0.0001 79	0.41935 0.0001 79	-0.33798 0.0023 79	0.57531 0.0001 79
FERM_EXT	-0.32261 0.0069 69	-0.28486 0.0177 69	1.00000 0.0 69	0.69963 0.0001 69	0.08662 0.4791 69	-0.32611 0.0062 69	-0.38000 0.0013 69	0.26695 0.0266 69	-0.73965 0.0001 69
FERM_INT	-0.27436 0.0225 69	0.02650 0.8289 69	0.69963 0.0001 69	1.00000 0.0 69	0.18419 0.1298 69	0.03196 0.7944 69	-0.30409 0.0111 69	0.37611 0.0014 69	-0.64247 0.0001 69
PDSREC	0.03780 0.7408 79	0.25839 0.0215 79	0.08662 0.4791 69	0.18419 0.1298 69	1.00000 0.0 79	0.17802 0.1165 79	-0.07877 0.4902 79	0.24833 0.0273 79	0.11211 0.3253 79
ESS	0.34764 0.0017 79	0.57538 0.0001 79	-0.32611 0.0062 69	0.03196 0.7944 69	0.17802 0.1165 79	1.00000 0.0 79	0.36054 0.0011 79	-0.20946 0.0639 79	0.43084 0.0001 79
PH	0.52490 0.0001 79	0.41935 0.0001 79	-0.38000 0.0013 69	-0.30409 0.0111 69	-0.07877 0.4902 79	1.00000 0.0 79	1.00000 0.0 79	-0.62339 0.0001 79	0.55531 0.0001 79
ACIDITE	-0.53482 0.0001 79	-0.33798 0.0023 79	0.26695 0.0266 69	0.37611 0.0014 69	0.24833 0.0273 79	-0.20946 0.0639 79	1.00000 0.0 79	-0.40075 0.0003 79	-0.40075 0.0003 79
C_INTREC	0.63726 0.0001 79	0.57531 0.0001 79	-0.73965 0.0001 69	-0.64247 0.0001 69	0.11211 0.3253 79	0.43084 0.0001 79	0.55531 0.0001 79	-0.40075 0.0003 79	1.00000 0.0 79

ANNEXE 5 : POURCENTAGE D'INFLORESCENCES AYANT FRUCTIFIE**Variété : GALERIE****Parcelle : MA 13**

Date de marquage	Nombre d'inflorescences marquées	Nombre d'inflorescences ayant fructifié	Pourcentage
03/12/98	26	3	12
08/12/98	11	2	18
10/12/98	8	0	0
12/12/98	133	11	8
13/12/98	144	11	8
16/12/98	11	1	9
17/12/98	168	17	10
18/12/98	143	11	8
21/12/98	96	7	7
TOTAL décembre	740	63	8,5
20/01/99	101	19	19
23/01/99	101	10	10
25/01/99	70	5	7
TOTAL janvier	272	34	12,5
10/02/99	200	26	13
11/02/99	500	43	9
13/02/99	100	15	15
TOTAL février	800	84	10,5
TOTAL toutes floraisons condondues	1812	181	10,0

Variété : AMELIE

Parcelle : MA 01, MA 03 et MA 08

Date de marquage	Nombre d'inflorescences marquées	Nombre d'inflorescences ayant fructifié	Pourcentage
08/12/98	50	2	4
10/12/98	50	3	6
12/12/98	20	0	0
13/12/98	20	0	0
14/12/98	20	0	0
15/12/98	50	3	6
18/12/98	50	5	10
19/12/98	50	4	8
21/12/98	100	10	10
24/12/98	230	22	9.6
TOTAL décembre	640	49	7.7
20/01/99	101	21	21
23/01/99	100	10	10
25/01/99	75	7	9
TOTAL janvier	276	38	14
13/02/99	200	20	10
16/02/99	300	33	11
19/02/99	74	8	11
TOTAL février	574	61	11
TOTAL toutes floraisons conduites	1490	148	10,0

Variété : KENT

Parcelle : MA 10

Date de marquage	Nombre d'inflorescences marquées	Nombre d'inflorescences ayant fructifié	Pourcentage
02/01/99	25	4	16
04/01/99	75	12	16
06/01/99	49	8	16
07/01/99	71	13	18
09/01/99	180	61	34
11/01/99	125	19	15
15/01/99	25	4	16
16/01/99	450	87	19
18/01/99	56	7	13
TOTAL janvier	1056	215	20
01/02/99	100	27	27
02/02/99	100	33	33
04/02/99	201	79	39
05/02/99	200	65	32
total du 01/02 au 05/02	601	204	34
10/02/99	100	19	19
12/02/99	210	49	23
total du 10/02 au 12/02	310	68	22
TOTAL février	911	272	30
TOTAL toutes floraisons condondues	1967	487	25

Variété : KEITT

Parcelle : MA 01

Date de marquage	Nombre d'inflorescences marquées	Nombre d'inflorescences ayant fructifié	Pourcentage
30/12/99	50	21	42
05/01/99	50	13	26
06/01/99	100	30	30
08/01/99	100	35	35
11/01/99	75	18	24
18/01/99	100	16	16
TOTAL janvier	475	133	28
01/02/99	50	18	36
03/02/99	150	60	40
TOTAL février	200	78	39
TOTAL toutes floraisons condondues	675	211	31